

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS
DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGIA

Aspirações de controle e ciência periférica:
imaginários sociotécnicos das interfaces cérebro-computador

Autor: Lucas Buosi

Brasília, 2026

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS
DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGIA

Aspirações de controle e ciência periférica:
imaginários sociotécnicos das interfaces cérebro-computador

Autor: Lucas Buosi

Tese apresentada ao departamento de
Sociologia da Universidade de Brasília como
parte dos requisitos para a obtenção do título de
Doutor.

Brasília, fevereiro de 2026

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS
DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIOLOGIA

TESE DE DOUTORADO

Aspirações de controle e ciência periférica:
imaginários sociotécnicos das interfaces cérebro-computador

Autor: Lucas Buosi

Orientador: Fabricio Monteiro Neves (UnB)

Banca: Prof. Doutor Bráulio Silva Chaves (CEFET-MG)
Prof. Doutor Ivan da Costa Marques (UFRJ)
Prof. Doutor Claudio Fortes Garcia Lorenzo (UnB)
Prof. Doutora Sayonara de Amorim Gonçalves Leal (UnB)

AGRADECIMENTOS

Meu muito obrigado a todos que, nos momentos de dúvida e dificuldade, confortaram meu coração e espírito com palavras gentis de apoio e confiança.

Particularmente ao meu companheiro Carlos por ser o meu ouvinte e crítico. Muitas das ideias aqui desenvolvidas, as mais experimentais e consequentes, diria que decorrem da nossa confiança intelectual.

Ao meu orientador Fabrício, por ter sido meu mentor, pela generosidade que lhe é característica e pela paciência que me permitiu melhorar a redação final. Essa tese é um encontro entre as lições que recebi de você e minha trajetória, materializando uma parceria intelectual e uma amizade que me fez amadurecer enquanto sociólogo e pesquisador.

Aos meus pais, Andreia e Edison, pela vida e força nos momentos de abalo, pela consistência no amor, por acreditarem em mim desde menino. Aos meus falecidos avós, Antônio, Mercedes e ao meu amor, minha segunda mãe, Bertilha. Falta-me palavras para expressar o meu sentimento por vocês.

Aos amigos, particularmente os que conheci em e por Brasília, que tornaram essa caminhada divertida e colorida. Especialmente Cícero, Larissa, Isabela, Beatriz, Milena, Kênia, muito obrigado! Particularmente a Lidiane, pela leitura atenciosa.

Aos pesquisadores que exerceram influência sobre mim, muitas vezes sem os mesmo saberem, por terem me ensinado pelo exemplo, por terem me inspirado. Verena, Ivan, Linnyer e Celso.

Aos membros da banca pelas críticas que serviram de norte na fase de revisão final.

Aos meus interlocutores, os pesquisadores que motivaram e viabilizaram esse trabalho. Meu voto é que o esforço aqui materializado esteja à altura da profundidade da atuação de cada um de vocês, que seja instrumental e provocativa para que a ciência chegue até os que podem se beneficiar dela.

Obrigado ao CNPq pela bolsa de estudos e ao Programa de Sociologia da UnB pelo apoio, principalmente aos seus docentes e técnicos, que fazem do Programa um espaço pujante e acolhedor.

Começo a conhecer-me. Não existo.

Sou o intervalo entre o que desejo ser e os outros me fizeram,

Ou metade desse intervalo, porque também há vida...

Sou isso, enfim...

Apague a luz, feche a porta e deixe de ter barulho de chinelas no corredor.

Fique eu no quarto só com o grande sossego de mim mesmo.

É um universo barato.

Poesias de Álvaro de Campos (1944). Fernando Pessoa.

Resumo

Esta tese investiga a coprodução de valores sociais e cognitivos no campo das Interfaces Cérebro-Computador (ICCs) no Brasil, articulando a teoria dialética dos valores (Lacey), o idioma da coprodução (Jasanoff) e a dinâmica centro-periferia, lida por uma chave dupla – centro-na-periferia e periferia-no-centro – que recusa a redução das hierarquias da tecnociência a uma dimensão territorial. A metodologia combinou análise documental de políticas de CT&I e de saúde, dados econômicos do comércio internacional de instrumentos médicos, levantamento bibliométrico e treze entrevistas em profundidade com pesquisadores atuantes no campo. Os resultados mostram que o desenvolvimento local de ICCs ancora-se na autonomia inclusiva – tecnologias assistivas orientadas ao SUS – como horizonte ético compartilhado, que convive com a simulação da centralidade: para captar recursos, os grupos aderem parcialmente ao imaginário global da disrupção, mas o filtram com ceticismo, priorizando aplicações clínicas e recusando o aprimoramento como meta. A plasticidade neural emerge como valor cognitivo legitimador, condição das promessas das ICCs, porém carregada de ambiguidades que demandam reflexividade. A interrupção da dialética entre fecundidade e significância é coproduzida pela própria excelência, pelo modo como ela é avaliada e recompensada. A metáfora do encapsulamento – vinda da rejeição biológica aos eletrodos – descreve como o arranjo institucional confina a inovação: o pesquisador-ilha sustenta a pesquisa na falta das engrenagens, a gambiarra atesta competência técnica e restrição material, as universidades operam como silos. O ecossistema revela-se como o negativo fotográfico do Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS): onde a demanda pública deveria puxar a inovação, o conhecimento morre na bancada pelo vazio nos arranjos produtivos. Ciclos orçamentários de abundância e escassez fragilizam redes, enquanto a dependência de instrumentos médicos importados se aprofunda. A tese conclui propondo políticas capazes de recompor a dialética – um desafio tecnológico para sensores médicos, compras públicas de inovação, hardware aberto e métricas que capturem a significância social –, de modo que a fecundidade científica se traduza em benefícios concretos para a população usuária do SUS. A contribuição original reside na articulação entre a dialética dos valores e o idioma da coprodução no contexto periférico, decompondo os mecanismos da interrupção em identidades, instituições, discursos e representações.

Palavras-chave: Interface cérebro-computador; dialética; coprodução sociotécnica; centro-periferia; autonomia inclusiva.

Abstract

This dissertation investigates the coproduction of social and cognitive values in the field of Brain-Computer Interfaces (BCIs) in Brazil, drawing on the dialectical theory of values (Lacey), the idiom of coproduction (Jasanoff), and center-periphery dynamics, read through a dual lens – *center-in-the-periphery* and *periphery-in-the-center* – that refuses to reduce the hierarchies of technoscience to a territorial dimension. The methodology combined documentary analysis of STI and health policies, economic data on the international trade of medical instruments, bibliometric survey, and thirteen in-depth interviews with researchers active in the field. The findings show that local BCI development is anchored in inclusive autonomy – assistive technologies oriented toward Brazil's public health system (SUS) – as a shared ethical horizon, coexisting with the simulation of centrality: to attract funding, research groups partially embrace the global imaginary of disruption, yet filter it with skepticism, prioritizing clinical applications and rejecting enhancement as a goal. Neural plasticity emerges as a legitimizing cognitive value, a condition for the promises of BCIs, but laden with ambiguities that demand reflexivity. The interruption of the dialectic between fecundity and significance is coproduced by excellence itself, by the way it is evaluated and rewarded. The metaphor of encapsulation – drawn from the biological rejection of implanted electrodes – describes how the institutional arrangement confines innovation: the island-researcher sustains research in the absence of supporting structures, the *gambiarra* attests to technical competence amid material constraint, and universities operate as silos. The ecosystem reveals itself as the photographic negative of the Health Economic-Industrial Complex (CEIS): where public demand should drive innovation, knowledge dies on the bench due to the void in productive arrangements. Budget cycles of abundance and scarcity weaken networks, while dependence on imported medical instruments deepens. The dissertation concludes by proposing policies capable of restoring the dialectic – a technological challenge for medical sensors, public procurement of innovation, open-source hardware, and metrics that capture social significance – so that the country's scientific fecundity translates into concrete benefits for the population served by SUS. The original contribution lies in articulating the dialectics of values with the idiom of coproduction in the peripheral context, decomposing the mechanisms of interruption into identities, institutions, discourses, and representations.

Keywords: Brain-computer interface; dialectic; sociotechnical coproduction; core-periphery; inclusive autonomy.

Lista de Imagens

Imagem 1: “Vista sagital da região do cíngulo do cérebro humano, com uma grade de Talairach sobreposta.” (Tradução livre)	44
Imagem 2: “Renderização de um conectoma de grupo com base em 20 sujeitos. As fibras anatômicas que constituem a arquitetura da substância branca do cérebro humano são visualizadas com codificação de cores.” (Tradução livre)	44
Imagem 3: Connectome de um cérebro humano.	91
Imagem 4: A Intersecção de Memória e Memória: Duas memórias capturadas sob o microscópio.....	92
Imagem 5: G.tec medical engineering: “Interface Cérebro-Computador e Neurotecnologia: produtos médicos de alta performance para uso invasivo e não invasivo em pesquisa e ambientes clínicos”...112	
Imagem 6: Blackrock Neurotech: “A líder em tecnologia ICC: 34 pessoas no mundo possuem uma ICC implantada; 31 usam tecnologia Blackrock”.112	
Imagem 7: Synchron: “Neurotecnologia para superar limitações do corpo humano: controle de dispositivos digitais apenas pelo pensamento”.....112	
Imagem 8: Neuralink: “O Link: primeiro implante neural para controlar computador ou dispositivo móvel em qualquer lugar”.113	
Imagem 9: FocusCalm: “Treine seu cérebro para foco e mente calma: neurofeedback para reduzir estresse e melhorar bem-estar.....113	
Imagem 10: Flow: “Senti-me viva de novo. Clinicamente aprovado para depressão, utilizado pelo NHS”.113	
Imagem 11: Evolução motora segundo a escala ASIA.....118	
Imagem 12 - Implante Neuralink N1 (“The Link”) desenvolvido pela Neuralink ao lado de uma moeda.....189	
Imagem 13: Utah Array, desenvolvido pela Blackrock Neurotech.....190	
Imagem 14: Ilustração do Stentrode desenvolvido pela Synchron.191	
Imagem 15: Neuropixels 2.0.191	
Imagem 16: Eletrodo flexível (SOFT ECoG) desenvolvido pela EPFL.192	
Imagem 17: Dispositivo “Layer 7” desenvolvida pela Precision Neuroscience ao lado de uma moeda.192	
Imagem 18: Microchip neural “Neurograin” (Brown University) ao lado de uma moeda.193	
Imagem 19: Diodos bioabsorvíveis desenvolvidos na <i>Tsinghua University</i>198	

Lista de Figuras

Figura 1: Interação entre valores sociais e cognitivos na produção científica (modo dominante).	20
Figura 2: Visão instrumental da disrupção como trajetória sustentada de ascensão no mercado.	69
Figura 3: Representação das relações entre promessas disruptivas e estrutura social.....	74
Figura 4: Evolução dos temas e conceitos associados à escola da dependência.....	130
Figura 5: Interação entre valores sociais e cognitivos na produção científica (modo periférico).....	275
Figura 6: Representação visual do esquema ‘duplo-interno’ para a relação Centro-Periferia.	277

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Investimentos federais em C&T e Indústria (função), em milhões de reais.....	148
Gráfico 2: Execução orçamentária do FNDCT em bilhões de reais.	148
Gráfico 3: Gastos com Pesquisa e Desenvolvimento (% do PIB), países selecionados mais membros da OCDE.	150
Gráfico 4: Mercado mundial de instrumentos médicos, exportações totais (1995-2021).....	160
Gráfico 5: Exportações dos subcontinentes mais dinâmicos.....	160
Gráfico 6: Importações dos subcontinentes mais dinâmicos.....	161
Gráfico 7: Exportações de instrumentos médicos, países selecionados.....	161
Gráfico 8: Importações de instrumentos médicos, países selecionados.....	162
Gráfico 9: Balança comercial de instrumentos médicos, países selecionados.	163
Gráfico 10: Balança comercial de instrumentos médicos, subcontinentes.	164
Gráfico 11: Exportações e importações brasileiras de instrumentos médicos (1995-2021).....	165
Gráfico 12: Balança comercial brasileira de instrumentos médicos, subcontinentes selecionados.	167
Gráfico 13: Balança comercial brasileira de instrumentos médicos, países selecionados.	167
Gráfico 14: Mercado global de instrumentos para ciências médicas (1995-2021).	168
Gráfico 15: Exportações de instrumentos para ciências médicas, subcontinentes selecionados.	169
Gráfico 16: Exportações de instrumentos para ciências médicas, países selecionados.	169
Gráfico 17: Importações de instrumentos para ciências médicas, subcontinentes selecionados.	170
Gráfico 18: Importações de instrumentos para ciências médicas, países selecionados.	170
Gráfico 19: Balança comercial de instrumentos para ciências médicas, subcontinentes.....	171
Gráfico 20: Balança comercial de instrumentos para ciências médicas, países selecionados.	171
Gráfico 21: Exportações e importações brasileiras de instrumentos para ciências médicas (1995-2021, US\$ nominais).	173
Gráfico 22: Balança comercial brasileira de instrumentos para ciências médicas, países selecionados.	174
Gráfico 23: Distribuição das matérias por revista (2020-2024).....	182
Gráfico 24: Frequência anual das defesas de teses e dissertações no tópico de ICCs entre 1999 e 2020.	309
Gráfico 25: Frequência anual das defesas de doutorado dos orientadores da amostra.....	309
Gráfico 26: Perfil dos pesquisadores: % dos artigos no tópico de BCI.....	314
Gráfico 27: Perfil dos pesquisadores: H index.	315
Gráfico 28: Evolução da produção científica sobre ICC indexada no WoS entre 1989 e 2023.	320
Gráfico 29: Distribuição das publicações entre os 25 países com maiores contagens de publicação no WoS entre 1989 e 2024.....	320
Gráfico 30: Distribuição das publicações entre os 25 países com maiores contagens de publicação no WoS entre 1989 e 2024.....	321
Gráfico 31: Evolução da produção científica brasileira sobre ICC indexada no WoS entre 2015 e 2024.	321
Gráfico 32: Distribuição das publicações entre categorias do WoS dos artigos com participação de brasileiras entre 2015-2024.	322
Gráfico 33: Distribuição das publicações entre as 10 instituições com as maiores contagens de artigos indexados pelo WoS entre 2015-2024.	322
Gráfico 34: Relações de coautoria entre instituições de pesquisa.....	324

Lista de Mapas

Mapa 1: Distribuição territorial da formação de pesquisadores pelas ICTs na temática de ICCs.308

Lista de Quadros

Quadro 1: Tipologia centro-periferia e regimes de valor.....	23
Quadro 2: Atitude dualista encenada pelos protocolos experimentais em Interfaces Cérebro-Computador.....	48
Quadro 3: Fecundidade e significância, definições operacionais.	87
Quadro 4: PCT brasileira e o significado dela para a dialética valores sociais e cognitivos.....	153
Quadro 5: Taxonomia padronizada do mercado de Interfaces Cérebro-Computador (ICCs).....	176
Quadro 6: Racionalidade de cada cenário projetado.	177
Quadro 7: Aplicação do enquadramento conceitual às ICCs.	188
Quadro 8: A coprodução da interrupção da dialética no campo das ICCs no Brasil.	262
Quadro 9: Práticas/ordens de coprodução - definições práticas.	267
Quadro 10: A dialética segundo as práticas/ordens de coprodução.	274
Quadro 11: Proposta de desafio tecnológico para o setor de instrumentos médicos, com foco em sensores.....	280
Quadro 12: Outros instrumentos de política pública.....	282
Quadro 13: Evolução dos termos relacionados a inovação e principais contextos de uso.....	288
Quadro 14: Informações levantadas a partir das defesas de teses e dissertações em ICC.	302
Quadro 15: Informações levantadas sobre os professores-pesquisadores a partir dos Lattes.	303
Quadro 16: Conjunto de questões que orientaram a criação da Tabela de Verdade.	303
Quadro 17: Roteiro das entrevistas estruturadas.....	314
Quadro 18: Características dos pesquisadores selecionados para a pesquisa (Perfis).	316
Quadro 19: Linhas de pesquisa dos grupos de pesquisa mapeados por UF.	318
Quadro 20: Comparação do uso no GPT por projeto.	329
Quadro 21: Instrução-Mestre para o GPT: matérias sobre ICC.....	329
Quadro 22: Mapa mental exportado pelo GPT: matérias sobre ICC.....	332
Quadro 24: Instrução-Mestre para o GPT: Entrevistas.....	334
Quadro 25: Mapa mental exportado pelo GPT: Entrevistas.....	335
Quadro 27: Instrução-Mestre para o GPT: revisão inteligente.....	337
Quadro 29: Exemplo de "/modo:" personalizado no GPT.	338
Quadro 30: Perguntas feitas pelo GPT ao usuário (Conclusão).	339

Lista de Tabelas

Tabela 1: Variação no Ranking da Complexidade.....	147
Tabela 2: Indicadores PINTEC (2022-2023).....	149
Tabela 3: Regiões mais dinâmicas no mercado de instrumentos médicos (exportações e importações, 2021, USD nominais).....	159
Tabela 4: Exportações brasileiras de instrumentos médicos, principais destinos (US\$ nominais).....	165
Tabela 5: Importações brasileiras de instrumentos médicos, principais provedores (US\$ nominais).	166
Tabela 6: Exportações brasileiras de instrumentos para ciências médicas, países selecionados (US\$ nominais).....	173
Tabela 7: Importações brasileiras de instrumentos para ciências médicas, países selecionados (US\$ nominais).....	174
Tabela 8: Projeções para o mercado global de ICCs.	176
Tabela 9: Projeções para a balança comercial brasileira de instrumentos médicos para 2035 e 2045 (US\$ Mi.).	177
Tabela 10: Perfil dos entrevistados.	222
Tabela 11: Informações sobre a filiação institucional dos entrevistados.....	222
Tabela 15: Questões orientadoras do Desafio.	281
Tabela 13: Matriz das variáveis classificatórias utilizadas.	304
Tabela 14: Relação de PPGs com trabalhos defendidos na temática de ICC.....	307
Tabela 18: Distribuição das defesas na temática ICC entre as ICTs brasileiras e departamentos.	311
Tabela 19: Classificação dos Departamentos com mais de 3 defesas para a temática no índice e-ICC.	311
Tabela 20: Classificação das ICTs segundo a média institucional no índice e-ICC.	312
Tabela 21: Classificação dos pesquisadores-docentes segundo a média individual no índice e-ICC..	312
Tabela 22: Média das variáveis que compõem o índice e-ICC.	313
Tabela 20: Recursos humanos mobilizados pelos grupos com alguma linha de pesquisa em ICC.	316
Tabela 21: Participação em Grupos de Pesquisa cadastrados no Diretório do CNPq.	318
Tabela 25: Clusters e instituições com os artigos mais citados.	324
Tabela 26: Matriz coprodutionista.....	338

Lista de Siglas

AACD – Associação de Assistência à Criança Deficiente
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AVC – Acidente Vascular Cerebral
BCI – Brain-Computer Interface (Interface Cérebro-Computador)
BRAINN – Brazilian Institute of Neuroscience and Neurotechnology (Instituto Brasileiro de Neurociência e Neurotecnologia)
BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CEO – Chief Executive Officer
CEIS – Complexo Econômico-Industrial da Saúde
CNI – Confederação Nacional da Indústria
CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
C&T – Ciência e Tecnologia
CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade
DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency
ECOG – Eletrocorticografia
EEG – Eletroencefalografia
EMT – Estimulação Magnética Transcraniana
EPFL – École Polytechnique Fédérale de Lausanne
EUA – Estados Unidos da América
FAP – Fundação de Amparo à Pesquisa
FDA – Food and Drug Administration (Agência de Alimentos e Medicamentos dos EUA)
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos
fMRI – Functional Magnetic Resonance Imaging (Ressonância Magnética Funcional)
FNDCT – Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
fNIRS – Functional Near-Infrared Spectroscopy (Espectroscopia de Infravermelho Próximo Funcional)
IA – Inteligência Artificial
ICC – Interface Cérebro-Computador
ICT – Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISD – Instituto Santos Dumont
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MEG – Magnetoencefalografia
NIB – Nova Indústria Brasil
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PADIS – Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores
PC – Personal Computer (Computador Pessoal)
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PCT – política Científica e Tecnológica
PI – Propriedade Intelectual

PME – Pequenas e Médias Empresas

PPB – Processo Produtivo Básico

SSVEP – Steady-State Visual Evoked Potential (Potencial Evocado Visual Estável)

SUS – Sistema Único de Saúde

TDAH – Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade

TDCS – Transcranial Direct Current Stimulation (Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua)

TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFABC – Universidade Federal do ABC

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

Sumário

Introdução – a formulação do problema e o contexto do trabalho.....	1
1. Tecnociência e Valores	2
1.1. Argumento da tese.....	3
1.2. Enquadramento teórico: valores, coprodução e imaginários.....	8
1.3. O caso: Interfaces Cérebro-Computador	12
1.4. Metodologia.....	14
1.5. A coprodução do pesquisador e do objeto.....	15
1.6. Estrutura do texto.....	16
Parte 1: Uma teoria do valores – Contribuições dos Estudos CTS.....	18
2. A dialética entre valores sociais e cognitivos.....	19
2.1. Aportes dos Estudos CTS: idioma coproducionista	31
2.2. A coprodução dos valores no contexto somático	36
2.3. Considerações finais.....	48
3. Dinâmicas destrutivas – inovação disruptiva.....	50
3.1. Destruição Criativa.....	50
3.2. A Era da Digitalização.....	53
3.3. A Ideologia Californiana	62
3.4. A Definição Instrumental de Disrupção	66
3.5. Disrupção e Saúde	73
3.6. Aprimoramento humano.....	78
3.7. Considerações finais.....	81
4. A visão materialista das neurociências para a vida e sociedade.....	85
4.1. Materialismo Renovado.....	87
4.2. Transformações paradigmáticas	94
4.3. Indeterminação ontológica – situando os dispositivos neurais.....	100
4.4. A experimentação com Interfaces Cérebro-Computador	107
4.5. Considerações finais.....	120
4.6. Sobre a parte 2 desse trabalho	121
Parte 2: Os valores na prática – Imaginários, Capitalismo e Alternativas.....	124
5. A PCT nas periferias sob a ótica da dialética dos valores	125
5.1. Precusores: a Escola da Dependência	126
5.2. A inflexão estrutural que se avizinhava, mas não ocorreu e se afasta.....	133

5.3.	Panorama competitivo e econômico.....	147
5.4.	A coprodução da dependência.....	152
5.5.	Considerações Finais	156
6.	Aprofundamento da Dependência: inserção brasileira no setor de Instrumentos Médicos.....	157
6.1.	Panorama global e nacional (1995-2021).....	158
6.2.	Apresentação dos dados.....	159
6.3.	Projeções para o mercado de Interfaces Cérebro-Computador (ICCs)	175
6.4.	2045 – Aprofundamento da dependência estrutural?	177
6.5.	Considerações finais.....	178
7.	O que se espera das interfaces cérebro-computador?.....	182
7.1.	Metodologia.....	183
7.2.	Apresentação dos resultados.....	188
7.3.	Discussão dos resultados – as Interfaces a partir do centro.....	202
7.4.	Considerações Finais	214
7.5.	Fontes (matérias) usadas na subseção ‘7.2. Apresentação dos resultados’	218
8.	A coprodução situada de valores sociais e cognitivos.....	222
8.1.	Metodologia.....	223
8.2.	Escopo	223
8.3.	Apresentação dos Resultados – Entrevistas.....	224
8.4.	Discussão dos resultados - a dialética dos valores na prática.....	242
8.5.	Considerações finais.....	259
	Aspirações de Controle e Ciência Periférica.....	263
9.	Conclusão	264
9.1.	A dialética na prática	267
9.3.	Para reatar a dialética – um desafio ancorado no CEIS.....	279
9.4.	Desdobramentos futuros da pesquisa	282
	Metodologia Ampliada – documentos, entrevistas, dados e uso de IA.....	285
10.	Pesquisa documental – usos da noção de Disrupção no Brasil.....	286
10.1.	Emergência do conceito.....	286
10.2.	Leis, Estratégias e Políticas	288
11.	Entrevistas em profundidade	302
11.1.	Universo de pesquisa.....	306
11.2.	Roteiro das Entrevistas em Profundidade.....	313

11.3.	Perfil dos docentes convidados para a pesquisa	314
11.4.	Triangulação com dados bibliométricos.....	319
11.5.	Análise de Redes	322
12.	Transparência – Uso do GPT (Open AI).....	327
12.1.	Nota do autor (fev.26)	327
12.2.	Ciclo de uso	328
12.3.	No capítulo 7	329
12.4.	No capítulo 8	333
12.5.	Na revisão textual	335
	Referências bibliográficas.....	340

Introdução – a formulação do problema e o contexto do trabalho

1. Tecnociência e Valores

“É... não, certamente, né? E como faz parte da nossa grande tradição – *Santo de casa não faz milagre* –, isso no Brasil é literal, né? Tanto é que, depois da Copa, infelizmente, o nosso plano, como eu disse, era disseminar o projeto [*Walk Again*]. Ah, e eu esqueci de falar uma coisa – não sei quem me perguntou, mas é importante que eu diga: a demonstração da Copa ocorre em 2014. Se vocês forem ver, o nosso trabalho foi publicado numa das revistas da *Nature*, com resultados clínicos mostrando uma melhora neurológica que ninguém previu, nem nós. Nossos pacientes começaram a mover as pernas, recuperar sensibilidade e até ganhar funções viscerais. Isso saiu em 2016, nos *Scientific Reports*.

É, até hoje, o trabalho mais citado online da história da ciência brasileira. Pois bem: o boom das startups de interface cérebro-máquina começa em 2017. E não é só a *Neuralink*, não, né? Todas as empresas de que a gente fala hoje – tanto nos Estados Unidos como na Europa, e mais recentemente na China – só começam a existir em 2017. Por quê? Porque o nosso trabalho saiu na capa do *Financial Times*, entre outros jornais, e ali se mostrou a viabilidade econômica disso.” (NICOLELIS, 2025, 1h10min, grifo nosso)

Em 2014, o projeto *Walk Again*, liderado por Miguel Nicolelis a partir de um instituto dedicado à neuroengenharia, realizou uma demonstração pública na abertura da Copa do Mundo no Brasil: uma pessoa com paraplegia, conectada a um exoesqueleto controlado por sinais cerebrais, deu o pontapé inicial. Em 2016, resultados clínicos mostrando melhora neurológica inesperada foram publicados na *Scientific Reports* e repercutiram internacionalmente. Segundo Nicolelis, essa visibilidade teria contribuído para o boom de startups de interfaces cérebro-máquina a partir de 2017 – não apenas a *Neuralink*, mas empresas nos Estados Unidos, Europa e China.¹ A ciência brasileira estava, nesse campo, na vanguarda. Contudo, o plano de disseminar o projeto no Brasil foi interrompido. Apesar da ciência de base ser percebida como excelente e até mesmo pioneira, a tradução desse conhecimento em tecnologia acessível e difundida não se concretizou. Essa distância entre fecundidade científica e significância social é o problema central desta tese.

Esta tese trata da construção de um espaço privilegiado de estudo científico e aconselhamento: *o cérebro e sua relação com as neurociências e neurotecnologias*. O recorte dela é circunscrito a um dispositivo em particular e não se trata de uma análise generalista, apesar do intuito comparativo que está implícito nesse esforço. O horizonte final é oferecer uma compreensão sociológica dos valores cognitivos e sociais que as neurotecnologias envolvem na

¹ Em entrevista ao programa Roda Viva (28 set. 2025), Nicolelis relatou: após a demonstração na Copa em 2014 e os resultados publicados em 2016, o boom de startups de interface cérebro-máquina começou em 2017. O trabalho referido (Donati et al., 2016, *Scientific Reports*) conta com 375 citações -- um feito importantíssimo, embora a afirmação de ser "o trabalho online mais citado da história da ciência brasileira" seja um exagero. A título de comparação, artigos de Cesar Victora (UFPEL) no mesmo período acumulam quase 10 mil citações. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LkQ9oXiRzMc&t=4s>. Acesso em: 7 nov. 2025.

prática, com enfoque no desenvolvimento de Interfaces Cérebro-Computador (ICCs)² no Brasil e algumas extrapolações necessárias para uma reflexão aprofundada da Política Científica e Tecnológica (PCT). Para isso, a tese apoia-se no trabalho teórico de Hugh Lacey (2008; 2010) sobre a dinâmica valorativa do conhecimento científico, no aparato conceitual de Sheila Jasanoff (2004), o "idioma coproducionista" e, particularmente de "imaginários sociotécnicos" e no conceito de regimes de valores de Fabrício Neves (2020).

A tese apoia-se na literatura para atualizá-la, mobilizando o contexto "disruptivo" das neurociências-tecnologias por meio de um esforço empírico com diferentes frentes, a saber: (i) levantamento das políticas públicas de C&T (ou CTI) no Brasil; (ii) expectativas de mercado, como o alcance econômico de instrumentos médicos e o potencial futuro das ICCs; (iii) imaginários sociotécnicos, veiculados por revistas de divulgação científica; (iv) percepções sobre o desenvolvimento tecnológico sustentadas por pesquisadores atuantes no Brasil em ICCs.

Com isso, pretendeu-se refletir sobre a valoração na tecnociência e suas considerações sobre o que é "bom" ou "mal", a partir de um estudo de caso -- o desenvolvimento das Interfaces ou ICCs -- no qual as "formações sociotécnicas" ou os "estados particulares de conhecimento" constituíram o objeto central de análise empírica, com o intuito de conectá-las a um enquadramento teórico mais amplo.

1.1. Argumento da tese

A tecnociência, seguindo a caracterização de Hugh Lacey, tem o *valor social do controle da natureza* como o seu fundamento. A produção tecnológica -- mais recentemente, a inovação disruptiva -- constitui um desígnio superior para a organização da tecnociência e ocupa posição central nas perspectivas de valor sustentadas pelos cientistas, como parte integrante de quem são e do porquê trabalham. A relação entre os valores sociais e os valores cognitivos é dialética; ela estrutura uma forma de interação que pode ser interpretada por meio dos conceitos de estratégias (e significância) e possibilidades (e fecundidade). Em artigo de 2012, intitulado "*Reflections on science and technoscience*", Lacey caracteriza a tecnociência como uma forma de produção de conhecimento tecnológico, fundada na intervenção na natureza, avessa a um entendimento contextualizado da natureza em si - não abarcando toda a complexidade

² Em inglês, Brain-Computer Interfaces (BCI) ou "Brain-Machine Interfaces" (BMIs), optou-se pela tradução literal de BCI para o português, contudo os termos são usados na literatura como sinônimos. Nesse trabalho usa-se os nomes "Interfaces" e "ICCs" de maneira intercambiável.

envolvida (sociedade e ecologia principalmente) – e marcada por uma legitimidade acrítica – negligente em relação as alternativas, mas que se apresenta como neutra, sob a máscara de eficácia técnica.

Estratégias são modos de articulação da ciência e da pesquisa tecnológica com noções mais amplas de transformação ou tradução de um conhecimento em algo significativo, com impacto social. Envolvem a incorporação de ciência e tecnologia em práticas institucionais tangíveis, como desenvolvimento econômico, melhorias em serviços públicos e inclusão. No caso das Interfaces (ICCs), manifestam-se em uma agenda orientada para o desenvolvimento de soluções acessíveis e de baixo custo, com o potencial de melhorar concretamente a vida de pessoas com deficiências ou sofrimento psíquico-mental, promovendo a "autonomia inclusiva".³

Como modos de articulação, exigem cursos de ação deliberados, como planos, políticas e redes de colaboração, estruturas institucionais revestidas de poder para selecionar e concretizar possibilidades decorrentes da ciência para promover maior inclusão. Contudo, a análise sugere que predomina no Brasil, no nível das estratégias, a fragmentação e reatividade dos grupos, mais focados na manutenção das capacidades institucionais do que em um caminho transformativo, revestido de intensidade e urgência -- não porque não o busquem, mas lhes parece distante. São marcadas por hiatos que prejudicam a consolidação, apesar da ciência de base ser percebida como excelente e até mesmo pioneira.

As *possibilidades* são um *horizonte potencial de aplicação do conhecimento sistemático*, aberto a inúmeras trajetórias e inerentemente aspiracional, apontam para o que pode ser realizado de novo por um paradigma considerado fecundo. A *relevância* dessas possibilidades decorre da *avaliação de teorias, modelos, métodos, dados* e, sobretudo, do desempenho dos pesquisadores e da comunidade em fazer as coisas funcionarem. No contexto das Interfaces, a fecundidade manifesta-se no desenvolvimento de protótipos, intercâmbios, publicações internacionais, formação de recursos humanos e domínio de tecnologias habilitadoras, como IA. As possibilidades também se expressam nos imaginários sociotécnicos, combinadas aos valores sociais que conferem significância às visões de futuro, legitimando-as. No caso aqui estudado, incluem a assistência e a reabilitação como horizonte principal, promovendo a

³ Valor que guia as pesquisas quando o propósito é restaurar a agência de pessoas com limitações graves. Pressupõe no Brasil a aderência a métodos não-invasivos de baixo risco; custo compatível com o SUS; plataformas abertas; consentimento informado; proteção dos dados neurais; prioridade a populações vulneráveis; avaliação de sucesso baseada em ganhos concretos de independência e qualidade de vida.

autonomia inclusiva. Em outros contextos (não brasileiros), apontam para o aprimoramento, ou seja, a autonomia competitiva.⁴

Em meio a um leque amplo de futuros, os valores sociais selecionam e moldam, por meio das estratégias, as possibilidades consideradas mais legítimas, priorizando umas e subordinando outras. Em um cenário ideal, virtuoso, há o reforço mútuo entre estratégias e possibilidades. Em outros casos, há uma desconexão que resulta em baixa visibilidade e legitimidade: *a ciência pode até ser fecunda, mas as estratégias são insuficientes, gerando uma interrupção desse ciclo dialético*. Nesse segundo caso, de uma *dialética interrompida*, apesar dos protótipos promissores e das publicações de alta qualidade, não há, a longo prazo, sustentação que viabilize o amadurecimento das possibilidades, intensivas em conhecimento e tecnologia e o fortalecimento das estratégias mais significantes.

Lacey reconheceu, em seu trabalho, a possibilidade de um descompasso entre valores cognitivos e sociais; para o autor a relação é potencialmente dialética. Em sua caracterização a ciência moderna desenvolve-se por meio do materialismo, a estratégia dominante. *Isso não implica que a articulação da estratégia materialista com as possibilidades da ciência seja sempre forte*, tampouco, ressalta Pablo Mariconda que junto a Lacey desenvolveu o "*Modelo das Interações entre Atividades Científicas e Valores*" (2014), fecundidade científica implica necessariamente relevância social. A dissociação entre excelência e aplicabilidade é muito frequente, em escala global, apesar da orientação retórica de mercado predominante nas políticas de C&T. Apesar de reconhecerem o descompasso, o modelo de Lacey e Mariconda não formaliza ou explora sistematicamente os efeitos de uma interrupção persistente na dialética, tampouco descreve empiricamente sua manifestação.⁵

Na estrutura do modelo de Lacey e Mariconda (2014), os valores cognitivos mantêm um papel exclusivo e fundamental na etapa de avaliação cognitiva, onde são os únicos critérios legítimos para a aceitação de teorias. Contudo, os valores sociais têm papéis causais importantes em outras etapas, contribuindo para assegurar que os valores cognitivos sejam aplicados corretamente. O modelo identifica um desafio significativo no predomínio das estratégias

⁴ O termo aprimoramento refere-se a intervenções destinadas a expandir capacidades para além do normal ou terapêutico. Esse ponto será desenvolvido com maior atenção no Capítulo 3, 'Dinâmicas Destrutivas'.

⁵ Na estrutura do modelo de Lacey e Mariconda (2014), um ponto crucial é a distinção entre eficácia técnica e legitimidade nas aplicações científicas. A eficácia técnica, embora necessária, não é suficiente para garantir a legitimidade de uma aplicação. As questões de legitimidade envolvem considerações mais amplas sobre benefícios, riscos e alternativas. Os autores propõem que certas questões requerem o uso de estratégias sensíveis ao contexto, em complementaridade às estratégias descontextualizadas dominantes.

descontextualizadas (SDs) na ciência moderna. Embora estas estratégias sejam fecundas em muitos aspectos, sua adoção quase exclusiva pode comprometer ideais importantes da ciência, como a abrangência e a neutralidade. Os autores propõem que certas questões requerem o uso de estratégias sensíveis ao contexto (SCs). Um ponto crucial do modelo é a distinção entre eficácia técnica e legitimidade nas aplicações científicas. A eficácia técnica, embora necessária, não é suficiente para garantir a legitimidade de uma aplicação. Antes, as questões de legitimidade envolvem considerações mais amplas sobre benefícios, riscos e alternativas. Trata-se de um modelo que formaliza argumentos e conceitos num padrão distinto da análise do discurso, pois inclui considerações que não são redutíveis às considerações sobre o poder

Aqui, busca-se trabalhar essa dialética de forma empírica, mostrando, por meio das políticas de C&T, dinâmicas de mercado, divulgação científica e entrevistas como a tensão entre fecundidade e significância se institucionaliza como padrão estrutural, especialmente em áreas de fronteira que envolvem "disrupção". Além disso, ao aplicar os conceitos de centro e periferia de forma relacional, a tese enriquece o enquadramento criado por Lacey e colaboradores com uma atualização.

A diferenciação entre centro e periferia tem uma utilidade analítica, desde que não reduzida à pura localização geográfica ou nacional (por exemplo, EUA = centro; Brasil = periferia). Nesta tese, trabalha-se com uma definição relacional para compreender a dialética entre valores sociais e cognitivos. *O centro é o polo de abundância e estabilidade*, possui alta capacidade de definir quais são as fronteiras do conhecimento, atrai talentos e participa de redes de colaboração institucionalizadas e fortes. *A periferia, por sua vez, é um espaço de intermitência e interrupções*. O acesso a recursos é escasso e a agenda, reativa e seguidora. A participação em redes é pouco institucionalizada, o trabalho científico é fragmentado e o reconhecimento, no melhor dos cenários, é local e, no pior, inexistente.

A condição de centro e periferia não é atributo essencial de um país, mas uma posição relacional dentro de um campo ou sistema. Sabe-se que, no Brasil, há grupos com perfil de "centro", com articulação internacional, capacidade estratégica e alto grau de institucionalização, chamados, num passado recente, de "ilhas de excelência". Do mesmo modo, em países ricos, há grupos subfinanciados, pouco conectados e que atuam em nichos. A categoria de país é um recorte operacional, macrosociológico, importante para compreender

regimes de financiamento e regulação, estrutura institucional, inserção econômica e particularidades históricas relevantes. A simplificação é estratégica e não essencialista.⁶

A tese mostra que, no campo das ICCs, o Brasil produz conhecimento atualizado, conta com pesquisadores bem conectados com grupos estrangeiros e laboratórios com capacidade de tradução sociotécnica, ainda que em baixíssima escala (prototipagem). Entretanto, apesar dessas características "centrais", o perfil do campo permanece periférico, pois há uma interrupção estrutural entre fecundidade e significância, que se manifesta na: (i) baixa capacidade de pesquisa clínica; (ii) desarticulação das ações deliberadas entre FAPs e governo federal; (iii) ausência de uma indústria local de instrumentos médicos; (iv) avaliação da ciência concentrada na publicação de artigos.

Outro ponto importante é a conexão da teoria dos valores com o idioma coproducionista de Jasanoff (2004). Ao produzir uma biografia sociotécnica das ICCs, mostra-se como a dialética interrompida é efeito de uma coprodução assimétrica, uma tensão estrutural entre as dimensões sociais e cognitivas. Observou-se que os pesquisadores entrevistados, que atuam na área de Interfaces, coproduzem controle e autonomia, buscando integrá-los na prática experimental engajada com contextos aderentes à realidade local, através de estratégias contextualizadas. Entretanto, essa articulação é instável e o impacto decorrente é baixo. A combinação de controle e autonomia é tensa e reside aí parte da compreensão sociológica que pretendemos avançar. A precisão dos instrumentos é necessária para a interação humano-computador; portanto, o controle – o domínio dos processos neurais – é fundamental. Ao mesmo tempo, a intermediação técnica, quando combinada à inclusão, implica dependência, já que a estrutura sociotécnica necessária escapa ao controle dos cientistas e dos usuários na maioria das vezes. *Essa tensão revela uma ambiguidade constitutiva da tecnociência periférica: ela é crítica e conformada, aspiracional e restrita, fecunda e interrompida.*

Dito isso, o argumento da tese é desenvolvido em dois níveis analíticos: valores – padrões normativos de tipo cognitivo (rigor, precisão, consistência, generalidade) e social (controle, autonomia, inclusão, soberania) – e condições de contorno – dinâmicas sociais e macroeconômicas (divisão do trabalho científico, políticas públicas, instituições) e modos relacionais de inserção no sistema científico (centro-na-periferia; periferia-no-centro). O

⁶ Segundo ranking da Universidade de Leiden (CWTS), as universidades de formação e filiação dos entrevistados ocupam posições que variam da 17ª (USP) à 1181ª (UFABC). O mesmo ranking aponta para um protagonismo acentuado das universidades chinesas: das 10 primeiras em 2024, 7 eram desse país; em 2011 apenas 2 figuravam entre as 100 melhores. Para mais informações: <https://traditional.leidenranking.com/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

idioma da coprodução é adotado como uma ponte analítica entre os dois níveis, integrando-os em uma única leitura.

No decorrer do trabalho, serão desenvolvidos os seguintes argumentos: a dialética entre valores cognitivos e sociais é potencial, vulnerável, sujeita à interrupção -- mesmo no materialismo dominante, o controle manifestado pela tecnociência é em certo sentido excepcional e ocasional; a interrupção dessa dialética é uma característica central de contextos periféricos e geralmente é a norma; há uma tentativa de reatar essa dialética pela combinação dos valores controle e autonomia (inclusiva), para legitimar o campo das Interfaces no Brasil; as condições de contorno, que incluem dependência tecnológica, frustram essa tentativa, resultando em uma coprodução incompleta: a fecundidade se realiza sem plena significância e a esperança de inclusão é sistematicamente adiada.

Os principais resultados da pesquisa são: baixa capacidade de tradução do conhecimento, evidenciada pela distância entre prototipagem, pesquisa clínica e incorporação pelo SUS de tecnologias relativamente acessíveis; valorização ética da autonomia e inclusão pelos pesquisadores do campo das Interfaces em contraposição a práticas centradas no mercado, exemplificadas pela *Neuralink*; fragmentação das redes de pesquisa e descontinuidade no financiamento; dependência de instrumentos importados e ausência de uma indústria local; imaginários carregados de aspiração, mas também de frustração, de alguma forma "compensatórios" -- celebram a autonomia potencial, mesmo que o impacto real seja restrito, sintomáticos da dialética interrompida.

Importa ressaltar que a interrupção da dialética entre valores cognitivos e sociais não é apresentada aqui como causa primeira das condições estruturais que moldam a prática científica em contextos periféricos. Antes, trata-se de um sintoma ou reforço dessas condições. A dependência tecnológica, a fragmentação institucional e a descontinuidade do financiamento antecedem e moldam a prática dos pesquisadores. Entretanto, a reprodução sistemática de práticas dissociadas da significância social retroalimenta a precariedade, dificultando ainda mais a transformação das condições de contorno. Ao diagnosticar os mecanismos da interrupção, a tese também aponta, ao final, caminhos para possíveis intervenções.

1.2. Enquadramento teórico: valores, coprodução e imaginários

Parte da literatura aplicada ao tema da saúde já desenvolveu o significado hegemônico da tecnociência: mercantilização, elogio cego ao produtivismo, da performance e investimento

num corpo ótimo. Também prestou bastante atenção às práticas de cuidado, muito mais antigas e fundamentais para a sociabilidade humana, que possuem uma história milenar. A relação da tecnociência com o cuidado é uma problemática muito explorada e há importantíssimos estudos empíricos inspirados em Michel Foucault (1926-1984), que marcaram a sociologia e os Estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), entre os quais Nikolas Rose e Martyn Pickersgill são expoentes conhecidos e com agendas dedicadas ao tema das neurociências-tecnologias.

Michel Foucault (2010) em seus cursos no Collège de France em 1976 explicita sua análise do discurso. Primeiro, o discurso (principalmente o científico) é inseparável do poder e o poder da disputa pela verdade, que não se dá de forma estanque entre indivíduos, estamentos ou classes, mas em redes, entre relações múltiplas de sujeição. A “gene-arqueologia” da relação entre verdade e poder passa pelos ‘atos’, ‘efeitos’, ‘mecanismos’, ‘procedimentos’, ‘aparelhos’, ‘dispositivos’ e ‘tecnologias’ – os qualificativos utilizados são muitos – pelas transformações dessa dimensão prática-discursiva. Além disso, implica uma dimensão de guerra e brutalidade que é fundamentalmente produtiva, contrariando a hipótese fundada na centralidade da repressão, que imprime uma unidade, ou da política como pacificação e consenso filosófico-jurídico. (Ibid., p.43) Com efeito, a teorização foucaultiana extrai a sua potência da formulação da verdade como “[...] um mais de força” (Ibid., p.45), um efeito da astúcia manifestada por um adversário, uma “arma para uma vitória” (p.49).

Essa analítica do poder adentra aos estudos na intersecção da tecnologia e saúde pela chave da “guerra das raças” do século XVIII e suas mutações, como o racismo e eugenismo na virada para o século XX, que substitui a “guerra da soberania”, fazendo desaparecer a identificação do poder com um monarca, que implicava uma formulação polar em termos de presença e ausência de poder. Segundo o Foucault, a ideia de raça teria inaugurado uma nova clivagem na história do ocidente, de pelo menos dois grupos com origens, línguas e religiões distintas, “[...] que só formaram uma unidade e um todo político à custa de guerras” (Ibid., p.65), numa relação dissimétrica que convoca o grupo sujeitado a revolução, um tipo de discurso contra-histórico. O racismo e o eugenismo, seguindo essa argumentação, seriam um “discurso revolucionário ao avesso”, em que “[...] o Estado não é instrumento de uma raça contra uma outra, mas é, e deve ser, o protetor da integridade, da superioridade e da pureza da raça” (Ibid., p.68). Com isso, as técnicas de poder centradas nos corpos, na individuação do sujeito, o discurso disciplinar, se combina a uma outra tecnologia, o biopoder, que atua sobre os processos próprios da vida como população (a exemplo da natalidade, mortalidade, produtividade e higiene), regulamentando-a (Ibid., p.204-207), um poder que “deixa a morte de lado” e “faz viver” (Ibid., p.208), mas que

em excesso pode “matar a própria vida” (Ibid., p.213). A medicina moderna seria um exemplo dessa combinação entre poder disciplinar e biopolítica, linha de argumentação que foi muito explorada pela sociologia e pelos estudos CTS.

O presente trabalho, ainda que muito inspirado nos esforços da tradição foucaultiana, desloca o centro de atenção dos discursos para os imaginários e valores. Essa é uma diferença importante. Discursos são enunciados de verdade e demarcam fronteiras normativas pelo recurso da análise do poder – entendido, num sentido abrangente, como guerra. Imaginários são visões coletivas de futuros desejáveis, como modos de ordenação do social mais ou menos estabilizados, com ritos e manifestações culturais situadas. Já valores são categorias axiológicas, conceitos que orientam a sociabilidade e diferenciam instituições e coletividades pelo recurso a princípios éticos e morais como “bens maiores” (dever ser), possuindo uma racionalidade não redutível ao poder – apesar de praticamente inseparáveis. Em linhas gerais, numa análise do discurso o sujeito está numa relação de sujeição quase inescapável; sob a lente dos imaginários o sujeito está numa relação de coprodução com a ordem social e em circunstâncias específicas com a capacidade de projetar nessa ordem uma direção desejada; na lógica dos valores o sujeito está numa relação de justificação e não determinação – pois há recurso à racionalidade, ainda que frágil – e é convocado a regular a ordem social.

Ao aproximar e combinar as duas últimas lentes, embora sem ignorar as contribuições no plano empírico da primeira, o trabalho busca evitar assumir um viés que toma o poder como o centro da verdade, não porque não o é, frequentemente a máxima do poder faz muito sentido, mas porque essa redução deixa pouco ou nenhum espaço para uma atuação intelectual que além de crítica seja propositiva. Pretende-se neste trabalho explicitar a disputa simbólica em torno de noções-chave da ciência, aquelas com forte teor valorativo e moralizante, particularmente controle e autonomia (que se confunde com liberdade) e lançar luz sobre como esses elementos se combinam aos imaginários sociotécnicos, formando perspectivas nas quais a ciência pode servir a diferentes fins.

As três lentes mobilizadas constituem um sistema de inteligibilidade. A teoria de Lacey fornece o motor analítico: a dinâmica dos valores, a tensão entre fecundidade e significância, a possibilidade de interrupção. Na estrutura do modelo de Lacey e Mariconda (2014), os valores cognitivos mantêm um papel exclusivo e fundamental na etapa de avaliação cognitiva, onde são os únicos critérios legítimos para a aceitação de teorias. Contudo, os valores sociais têm papéis causais importantes em outras etapas, contribuindo para assegurar que os valores

cognitivos sejam aplicados corretamente. O modelo identifica um desafio significativo no domínio das estratégias descontextualizadas na ciência moderna: embora fecundas, sua adoção quase exclusiva pode comprometer ideais importantes como a abrangência e a neutralidade. Trata-se de um modelo que formaliza argumentos e conceitos num padrão distinto da análise do discurso, pois inclui considerações que não são redutíveis ao poder.

Jasanoff, por sua vez, fornece a linguagem – o idioma coproducionista que descreve como valores se materializam em identidades, instituições, discursos e representações. Em *"Dreamscapes of Modernity"* (2015) a autora destaca que representações e modos de vida, conhecimento e materialidade, ficção e realidade, são inseparáveis e formam imaginários, entendidos como: *visões de futuros desejáveis, construções mentais e coletivas da existência e da ordem que produzem laços sociais, identidades que exigem mais trabalho do que contemplação, apoiadas pela ciência e tecnologia – imaginários sociotécnicos*.⁷ No caso das ICCs, os imaginários sociotécnicos indicam uma incompletude: a promessa de acessibilidade, de democratização da autonomia, compensa a dificuldade de realizá-la materialmente. Nesse sentido, os imaginários articulam -- situando e tornando inteligíveis pela coprodução -- os valores sociais e cognitivos. A análise dos imaginários é incorporada à metodologia da tese como ferramenta para caracterizar empiricamente a dialética entre fecundidade e significância no campo das Interfaces.

Taylor (2013), por fim, fornece a âncora axiológica, do porquê valores importam ontologicamente para coletividades. Esta tese elabora sua formulação sobre a centralidade dos valores, reinterpretando-a e atualizando-a para o contexto dos estudos CTS.⁸ Os valores são centrais porque, de um ponto de vista macrosociológico, são um ligamento abstrato necessário

⁷ Segundo a autora (Ibid.) o conceito de imaginários sociotécnicos é tributário de muitos intelectuais atuantes nas ciências sociais. Destaques para: Charles Taylor (papel que os valores desempenham da sociabilidade); Benedict Anderson (comunidades políticas imaginadas, como práticas de memória e esquecimento necessárias para a emergência das nações); George Marcus (possibilidades de futuro decorrentes da ciência e tecnologia); Arjun Appadurai (perspectiva de que a ciência é um campo ou paisagem de trabalho e negociação, em que cientistas, tecnologia, dinheiro e ideias estão sobrepostas); Yaron Ezrahi (controle social, pelo olhar dos cidadãos e exigências de democratização e performance política de poder, eficácia e legitimidade da ciência e tecnologia). A autora reconhece a importância da análise do poder de Michel Foucault, contudo argumenta que ela imprime um viés muito forte de condicionamento histórico e perde de visão que a tecnologia também é moldada pela cidadania.

⁸ A tradição da sociologia da ciência, inaugurada por Karl Mannheim ao evidenciar a ancoragem social do conhecimento, evoluiu com Merton, que vinculou normas institucionais (comunismo, universalismo, desinteresse e ceticismo) ao funcionamento da atividade científica, e com Kuhn, cuja ênfase nos paradigmas abriu caminho para abordagens construtivistas. Nos Estudos CTS, essa virada tornou-se mais radical: o Programa Forte e correntes afins demonstraram que fatos científicos são produzidos em arenas de negociação onde poder, ideologia e discursos se entrelaçam, revelando a ciência como prática situada e histórica. Ao articular essas contribuições com a reformulação, proposta por Taylor (2013), da noção de “valores sociais” enquanto imaginários coletivos orientadores, esta tese sustenta que a análise dos processos científicos exige considerar simultaneamente dinâmicas sociotécnicas e disputas valorativas que moldam o que diferentes grupos definem como desejável ou legítimo.

para a existência de um "*nós imaginado*", alguns com histórias milenares e todos com diferentes características. Taylor chama essas articulações dos valores de "*configurações qualitativas*", que orientam e permitem situar nossa existência em um espaço moral reconhecível. Sem essas configurações, as identidades se fragmentariam, seriam incapazes de sustentar uma narrativa coerente e significativa. Os imaginários e valores associados formam uma condição necessária, pois viabilizam um engajamento significativo entre pessoas, mesmo que precário, pautando relações pelo reconhecimento e dignificação da vida.

Contudo, isso não significa que os valores e o imaginário sobre o que é bom determinem as relações sociais. A história e o presente ensinam muito sobre o papel fundador das guerras e como os valores podem ser distorcidos para excluir e justificar a dominação. Admitir a centralidade dos valores implica reconhecer conscientemente a fragilidade histórica desses laços macrosociológicos. Em contextos de múltiplas crises, falar de valores pode parecer ecoar um problema descredito. Contudo, permanece indispensável pensar as alternativas emancipatórias e dispensar as aparências ideológicas elevadas que não levaram a lugar nenhum. Na abordagem dialética proposta por Lacey (2008; 2010) os valores cognitivos, como objetividade e validade, estão constantemente em interação com valores sociais como justiça, inclusão, autonomia, competição, dominação. Essa dialética é especialmente tensa em contextos periféricos, em que as condições de contorno pressionam a ciência para uma legitimação instrumental e frequentemente conformada à esfera econômica (serve ou não para a inserção do país no capitalismo?), em detrimento de valores sociais emancipatórios (serve ou não aos cidadãos?).

1.3. O caso: Interfaces Cérebro-Computador

As neurociências e neurotecnologias exigem simulações realísticas das partes e interações mais fundamentais do cérebro com o corpo e o ambiente. Pressupõem o aprofundamento contínuo do conhecimento e a incorporação de novos detalhes. Juntas, como um tipo de tecnociência, viabilizam explicações poderosas sobre o comportamento animal e humano. Os pesquisadores que se identificam com o prefixo "neuro" estão posicionados num campo de atuação com forte apelo, primeiramente porque as neurotecnologias têm utilidade real para o cuidado de doentes (assistência e reabilitação) e, em tese, por poderem revolucionar a interação com dispositivos eletrônicos. Tais horizontes de utilização implicam diferentes composições de valores, que são incorporados pelas neurotecnologias desde o design dos dispositivos até a

governança dos dados que podem produzir, redundando na emergência do debate sobre neurodireitos.

No contexto das neurotecnologias, a autonomia pode ser compreendida tanto em sua relação com o valor da inclusão (a defesa da solidariedade) quanto em referência ao valor da competição (a busca pelo desempenho cognitivo). A conjunção entre autonomia e competição desloca a medicina para um lugar em que o controle do corpo está orientado para o melhoramento humano – as tecnologias médicas deixam de ser um meio para curar ou prevenir e passam a servir à expansão e diferenciação dos indivíduos, produzindo horizontes que tensionam valores centrais como autonomia, liberdade, privacidade e segurança. Já quando a autonomia se associa mais fortemente a ideais de inclusão, cuidado e reparação, a perspectiva é mais reflexiva: não desafia necessariamente a ordem social, mas se mostra mais aberta a projetos políticos alternativos e críticos à mercantilização.

A escolha das ICCs não é aleatória. Sua existência incerta e seus limites atuais tornam o campo fértil para observação ou, parafraseando Bruno Latour (2017), sem com isso fazer uma análise vinculada à teoria ator rede, trata-se de um estudo de caso realizado antes que se torne uma "caixa preta", isto é, antes que a tecnologia seja estabilizada e difundida. Isso permite um engajamento proativo dos Estudos CTS e da Sociologia, estimulando o debate e a reflexão crítica de especialistas e da sociedade civil.

As Interfaces são atravessadas por imaginários de disrupção – a narrativa que exalta a capacidade da tecnociência de gerar, incessantemente, novas possibilidades e faz crer que esse movimento por si só traria progresso social. No entanto, essa conexão entre criação e impacto raramente se realiza de forma direta; a disrupção, entendida como o ápice da fecundidade da tecnociência, tem frequentemente gerado desagregação social, concentração de poder e aprofundamento das desigualdades. No campo das ICCs no Brasil, a retórica disruptiva é comumente reapropriada com fins inclusivos, em contraste com a autonomia competitiva dos discursos dominantes nos centros afluentes. Os pesquisadores entrevistados demonstraram ceticismo frente à narrativa do aprimoramento, considerando as interfaces incapazes de capturar a complexidade fenomenológica do humano. *A plasticidade, portanto, não é disruptiva por si só, nem como tecnologia, nem como imaginário.* No Brasil, seu uso tem sido incremental, de viés inclusivo, viabilizado por tecnologias já difundidas como o Eletroencefalograma (EEG), evocando a ideia de pertencimento à ciência global, mas sem renunciar a aspirações locais de

impacto. A análise detalhada da retórica disruptiva e dos imaginários sociotécnicos associados às Interfaces é desenvolvida nos capítulos 3 e 7.

A presente tese buscou explorar essas diferenças para compreender suas interseções simbólicas e práticas. As perguntas orientadoras do trabalho foram: (i) De que forma os valores são mutuamente produzidos (coproduzidos)? (ii) Quais são os valores manifestados pelo desenvolvimento de Interfaces no mundo e no Brasil? (iii) Como os valores são legitimados na prática? (iv) O que a ideia de inovação disruptiva implica nesse contexto e de que maneira se relaciona com os riscos gerados?

O ponto de partida da tese, corroborado pela literatura, foi de que o desenvolvimento local das ICCs está atrelado à assistência e reabilitação. A expectativa era que os resultados apoiassem a hipótese da predominância da conjunção entre autonomia e inclusão -- algo que se confirmou, mas com nuances que relativizam a caricatura inicial. Em algumas ocasiões, os entrevistados expressaram otimismo em relação ao *hype* de mercado por um motivo pragmático: *isso atrai recursos e pode servir a um fim mais elevado, como introduzir e difundir novas tecnologias médicas*. Ao mesmo tempo, esse otimismo veio frequentemente acompanhado de advertências sobre acessibilidade, custo, governança e privacidade.

1.4. Metodologia

A metodologia empregada é mista, predominantemente qualitativa. A escolha por entrevistas em profundidade como fonte empírica principal justifica-se pelo objeto da pesquisa: valores e imaginários são vivenciados e justificados na prática de maneira que dados quantitativos, sozinhos, não capturam. A combinação com dados descritivos sobre comércio internacional de instrumentos médicos (capítulo 6) e produção acadêmica no campo das interfaces (anexo) permitiu triangular a dimensão valorativa com indicadores materiais da dialética interrompida. A análise de redes acadêmicas orientou a seleção de interlocutores para entrevistas estruturadas. A construção dessa seleção está detalhada no final do trabalho, como "**metodologia ampliada**". Optou-se por deixá-la ao final para preservar o estilo narrativo e interconectado dos capítulos.

O trabalho também envolveu uso de modelos de IA, particularmente o GPT da OpenAI para as etapas de tratamento, análise e revisão textual. Na metodologia ampliada o leitor encontrará uma descrição detalhada do uso dos modelos de IA no fluxo de trabalho.

1.5. A coprodução do pesquisador e do objeto

Esta tese não apresenta uma análise neutra ou tecnicista. A pesquisa implica, inevitavelmente, atuação na constituição e estabilização de significados e conhecimentos, num contexto social particular. Assim como o "objeto", o pesquisador está situado pela própria dialética que busca descrever. Quem escreve não está fora da análise: a construção da sociologia da ciência exige interpretação – atravessada por valores, imaginários e instituições – e é parte do processo de coprodução, ao recriar o mundo pela compreensão. Nesse espírito de transparência epistemológica, esta subseção adota um registro mais pessoal, afastando-se do estilo distanciado que caracteriza o restante do texto.

Busquei uma posição crítica-reflexiva diante das limitações estruturais da C&T brasileira, mas que também reconhecesse o valor das tentativas de transformação. Desejo uma ciência mais articulada socialmente, capaz de alcançar a população que mais precisa de suporte dos serviços públicos. É um incômodo pessoal a distância entre "*o que se fala*" e "*quem é efetivamente tocado*" pelo desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil. Nesse sentido, os encontros que tive com os pesquisadores atuantes no campo das Interfaces foram estimulantes e inspiradores: *todos relataram fazer uma ciência que tem como fim a inclusão e a melhoria dos serviços de saúde.*

A autorreflexão sobre origem social e engajamento com os valores da ciência pública está ancorada na perspectiva sociológica. Considera-se que o lugar de fala e a trajetória do pesquisador informam, sem determinar, as escolhas teóricas e os recortes empíricos do trabalho. Sendo filho de um operário e de uma empregada doméstica, não-concluintes da educação formal na juventude e egresso da rede pública, acredito que minha origem social moldou esse meu compromisso com a melhoria dos serviços públicos. A realização de um doutorado numa universidade reconhecida, em um departamento de excelência, tem uma significância profunda na minha trajetória e identidade.

Reconheço que aspectos importantes da análise derivam da minha experiência profissional durante o doutorado, atuando por mais de três anos numa organização social supervisionada pelo governo federal, onde auxiliei pesquisadores na avaliação de políticas públicas de C&T. Essa vivência proporcionou aprendizados empíricos e uma perspectiva interna que, mesmo quando não plenamente consciente, permeou o percurso analítico. Ao trazer o conceito de dialética interrompida para o centro da tese, relato, em alguma medida, um cenário de

ambiguidade que vivi: *onde a esperança de transformação e a consciência das dificuldades convivem nos mesmos espaços, um sentimento de que a mudança é lenta ou chega tarde.*

Para mim, o conceito de dialética interrompida é descritivo-provocativo. Não tem pretensão de neutralidade e tampouco propõe soluções fáceis. Trata-se de uma tensão estrutural que, embora não exclusiva ao Brasil, emerge aqui como uma variante crônica – dado à condição central na periferia. Um tanto paradoxal. Uma dialética de reforço contextualizada entre valores sociais e cognitivos é um tipo ideal, cuja realização depende de condições situadas e contingentes, uma combinação complexa de políticas públicas, redes de colaboração, participação social e inserção no capitalismo global. Ainda assim, mesmo quando se alcança o reforço mútuo, tal equilíbrio não é definitivo. Os impérios de hoje frequentemente não são os impérios de amanhã.

Reconheço, como viés, que minha sensibilidade esteve voltada às tensões, faltas e esperanças adiadas. Mas creio que esse viés é vivido também pelos meus interlocutores: mesmo quando destacaram sua competência científica e os recursos que acessam, o contexto imediato permanece restritivo. Para mitigar esse viés, incorporei análises de políticas públicas e dados econômicos, mas os resultados foram, em larga medida, confirmatórios. Assim, é possível que a leitura desta tese acentue demais a dependência, obscurecendo zonas de agência e reconstrução parcial da dialética. Ciente disso, busquei, onde possível, destacar as tentativas de reatar essa dialética por meio da mobilização do valor da autonomia inclusiva e, ao final do trabalho, fazer uma sugestão de mudança que considero positiva.

Também reconheço os limites do trabalho que fiz – de escopo empírico (centrado em pesquisadores, sem incluir pacientes, profissionais de saúde e empresas), de abordagem (sociológica, sem aprofundamento da dimensão fenomenológica da interação humano-computador) e de diálogo teórico (sem aprofundar tradições decoloniais e de tecnologias assistivas). Trata-se de uma pesquisa exploratória num sentido forte: aberta, situada e conscientemente inacabada. Essas limitações são discutidas na Conclusão, onde delineio uma agenda de pesquisa futura.

1.6. Estrutura do texto

O trabalho está organizado em duas partes interligadas, que transitam da fundamentação teórica à análise empírica.

A primeira parte constrói o arcabouço analítico. Para demonstrar que a dialética entre valores é potencialmente interrompida, é preciso primeiro compreender como ela opera: o Capítulo 2 explora a relação intrínseca entre tecnociência e valores, adotando o modelo de Lacey e contextualizando a hipótese da dialética interrompida com conceitos como regimes de valor e a dinâmica centro-periferia. Em seguida, é preciso entender o que desestabiliza essa dialética: o Capítulo 3 analisa criticamente a retórica da disrupção tecnológica, conectando-a às dinâmicas do capitalismo contemporâneo e às lógicas de controle. Por fim, é preciso examinar como essas dinâmicas se manifestam no domínio específico das neurociências: o Capítulo 4 investiga como estratégias materialistas e narrativas dominantes (como o cerebralismo) participam da coprodução de entendimentos sobre o cérebro, processos de identificação e a sociedade, preparando o terreno para o caso das Interfaces.

A segunda parte investiga empiricamente a dialética interrompida no contexto brasileiro. As condições de contorno são examinadas no nível macro: o Capítulo 5 analisa as Políticas de Ciência e Tecnologia no Brasil, evidenciando volatilidade, insularidade e descontinuidade. A dimensão material da dependência é demonstrada pelo Capítulo 6, com uma análise quantitativa da inserção brasileira no mercado global de instrumentos médicos. No nível meso, o Capítulo 7 investiga como os imaginários sociotécnicos sobre ICCs, difundidos a partir dos centros mais afluentes, moldam expectativas e podem criar descompassos na periferia. No nível micro, o Capítulo 8 explora, através de entrevistas, como os pesquisadores brasileiros vivenciam esses constrangimentos e participam da coprodução situada de valores e estratégias em sua prática científica cotidiana.

A Conclusão retoma os argumentos e achados, sintetizando os paradoxos da interrupção da dialética nas periferias e discutindo suas implicações mais amplas, inclusive para políticas públicas na interseção entre saúde e inovação.

No final da tese, o leitor encontrará como anexo a metodologia ampliada, com informações quantitativas e qualitativas que foram mobilizadas para a análise da PCT brasileira e seleção dos pesquisadores convidados para as entrevistas.

Parte 1: Uma teoria do valores – Contribuições dos Estudos CTS

2. A dialética entre valores sociais e cognitivos

Não é possível caracterizar as ciências por elas mesmas e tampouco explicá-las sem realizar diferenciações com outras esferas sociais. O processo de formação e consolidação das ciências foi marcado por especializações, formação de cânones, métodos e tecnologias e destaca-se por uma dinâmica de diferenciação que não decorre exclusivamente de méritos cognitivos ou critérios independentes do entorno cultural. As ciências mobilizam, de forma sistemática, visões de mundo, imaginários e representações cosmológicas de grande alcance. Por essas razões, as narrativas utilizadas por cientistas para descrever o mundo, bem como as teorias que adotam, precisam ser analisadas de modo combinado aos valores e motivações que as atravessam.

Os Estudos CTS têm apontado para o caráter construído e situado das esferas sociais. Os valores, ou o processo de valoração, enquanto a circulação de ideais fundamentais sobre o que é “bom” ou “digno”, formam um tema recorrente. A inserção em coletivos humanos implica o comprometimento com *perspectivas de valor* que sustentam os laços intergeracionais e moldam os processos de identificação e socialização, tornando a vida humana uma experiência ao mesmo tempo biográfica e histórica. Mesmo quando orientadas pelo rigor metodológico, as ciências ainda são pessoais. Isso não significa, como aponta Lacey (2008; 2010), que as ciências sejam determinadas pela sociedade, tampouco que sejam menos legítimas por não serem neutras. O ponto central está em reconhecer que os valores nas ciências se relacionam de forma dialética, por meio de uma dinâmica mediada de interação:

Os valores [sociais], que tornam essas possibilidades interessantes e devem motivar a manutenção provisória das teorias que se ajustam às estratégias de restrição e seleção dialeticamente vinculadas aos valores, não desempenham nenhum papel nos juízos de aceitação. (Um ‘fato’ não é extraído de um valor; mesmo que em suas manifestações concretas, os valores cognitivos e os valores sejam inseparáveis). Os valores não funcionam ao lado de valores cognitivos. A distinção de níveis é metodologicamente e logicamente essencial. (LACEY, 2008, p.115)

A interação mediada entre valores (sociais & cognitivos) possibilita a constituição de conhecimentos sistemáticos, próprios da atividade científica, vinculados a concepções sobre o que constitui um “bom” conhecimento para a sociedade, com conteúdo moral e transversal não exclusivo das ciências. Tal dinâmica é culturalmente variável, expressando uma pluralidade de formas sistemáticas de conhecer, irredutíveis entre si. O argumento de Lacey (ibid.), representado na Figura 1, oferece um modelo teórico que propõe, na multiplicidade dos valores, uma resposta à crise da neutralidade, sem renunciar à especificidade epistemológica das ciências.

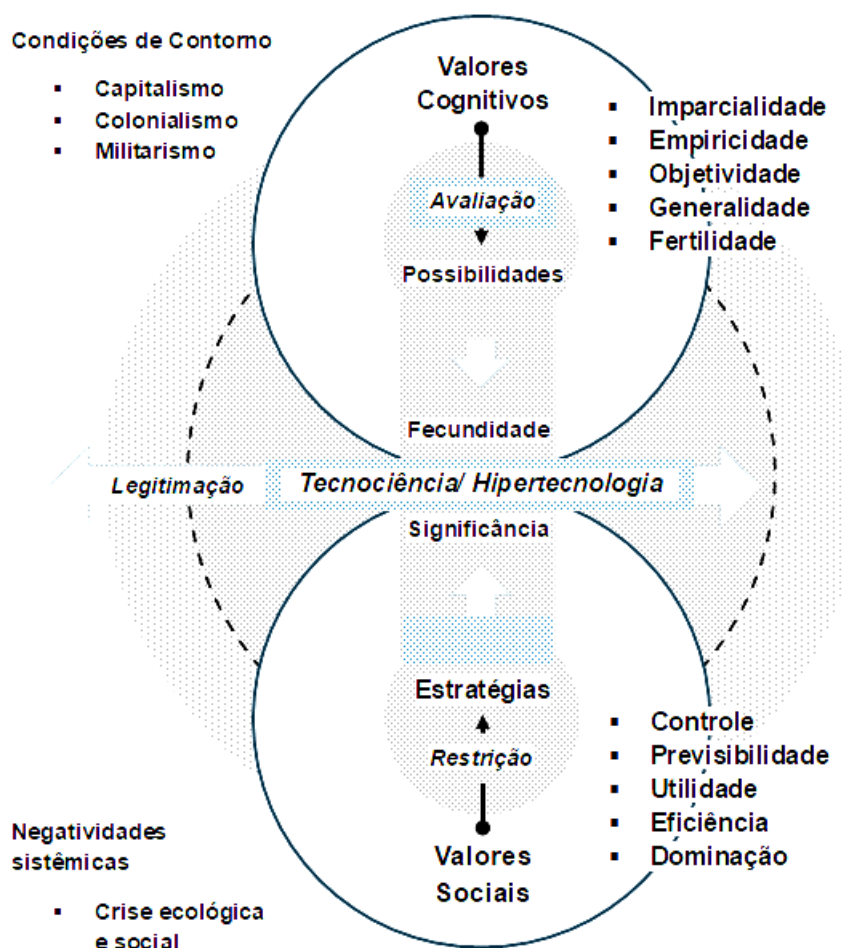


Figura 1 - Interação entre valores sociais e cognitivos na produção científica (modo dominante). Esquema inspirado em Lacey, representando a dinâmica entre valores cognitivos e sociais na constituição de estratégias e possibilidades, resultando num plano mais amplo em legitimidade.

Fonte: Elaboração própria com base em Lacey (2008).

A teoria de Lacey reconhece a contingência da relação entre “*estratégias*” e “*possibilidades*”. É próprio das ciências expressar intensamente os valores cognitivos, condição necessária para a formação de relações de confiança e comunalidade entre pares. Também é característico da prática científica a contenção de determinações oriundas dos valores sociais, pois um conhecimento socialmente determinado não poderia ser considerado científico. Dito isso, Lacey preserva a especificidade das ciências como atividade singular, sem fetichizá-las como se fossem dotadas de qualidades sobre-humanas ou um ofício destinado apenas às mentes geniais.

As ciências mantêm uma relação estreita com estratégias materialistas, herdeiras de um movimento originado na Europa do século XVIII, marcado pela ascensão do experimentalismo, utilitarismo e individualismo. Juntas, essas ideologias promoveram um modo sistemático de aquisição de conhecimento que desafiou a tradição aristotélica e cristã, consolidando-se como

elemento central – às vezes decisivo e revolucionário – em domínios como a economia e a política.⁹ Essa centralidade se manifesta na limitação, no plano das estratégias, da incorporação de valores sociais alternativos, mais holistas e solidários. Os valores sociais, entre os quais o controle sobre a natureza é o mais proeminente, restringem o conjunto de estratégias consideradas viáveis pelas instituições científicas que emergiram nesse contexto. Por sua vez, os valores cognitivos, como a imparcialidade, orientam a avaliação rigorosa das possibilidades pela comunidade de cientistas. A interação entre estratégias e possibilidades, ou entre valores sociais e cognitivos, pode ser assim resumida:

- (i) As estratégias mais relevantes são aquelas demonstradas como cientificamente fecundas, dando origem a conjuntos coerentes de teorias, métodos e tecnologias.
- (ii) As possibilidades mais relevantes são aquelas com maior significância social, alinhadas com as perspectivas de valor dominantes.
- (iii) A interação entre valores cognitivos e sociais, entendida como reforço mútuo, viabiliza a produção de conhecimento científico, ao mesmo tempo que legitima as “*condições de contorno*”. Tal dialética produz uma forma específica de conhecimento — materialista e hipertecnológica (tecnociência) — associada às relações de poder (capitalistas, colonialistas, militaristas), cujos efeitos são “*negatividades sistêmicas*”, indicadoras da crise do projeto dominante (como as crises ecológica e social).
- (iv) A significância das possibilidades e a fecundidade das estratégias são mutuamente dependentes. A ausência ou fragilidade de uma delas compromete a legitimidade das condições de contorno e da própria ciência.
- (v) A análise das intencionalidades constitui princípio metodológico que permite relacionar os processos e os conflitos, por meio da indagação sobre a quem servem as ciências e como podem produzir sofrimento ou emancipação.
- (vi) O modelo teórico, ao promover a crítica, busca fomentar estratégias alternativas e complementares ao materialismo dominante.

Na formulação desse modelo, Lacey (2008), influenciado por Roy Bhaskar, elenca nove características desejáveis para um enquadramento mínimo nas ciências sociais com enfoque sobre os valores (ibid., p. 244–255):

- (i) As estruturas sociais devem ser identificadas e seus poderes gerativos investigados.
- (ii) As regularidades empíricas devem ser tratadas como objetos teóricos, para se entender como são geradas por estruturas e mecanismos subjacentes.
- (iii) O real deve ser concebido como incluindo não apenas o atual, mas também o possível.
- (iv) O enquadramento deve articular de forma adequada as dimensões pessoal e estrutural.

⁹ Em “*Novum Organum*” (2014) Francis Bacon (1561-1626) relata a emergência do método intuitivo universal. O filósofo criticou a filosofia natural (aristotélica) e a escolástica por ser excessivamente lógica, formal e abstrata, distante da experiência real e portanto dogmática. Bacon defendeu a observação gradual da natureza como base do conhecimento, sujeitando o entendimento a aplicação correta à realidade. Da intuição sistemática emerge o conhecimento verdadeiro, das leis e causas da natureza e, conseqüentemente o poder para dominá-la, transformando-a segundo a utilidade prática e racional desse conhecimento, inclusive para a esfera da moral e política, na promoção da melhoria da vida humana por meio das invenções.

- (v) Todos os fenômenos sociais devem ser explicáveis socialmente, inclusive a predominância de crenças.
- (vi) As negatividades sociais devem ser investigadas como possíveis expressões estruturais, sistemicamente conectadas a características “positivas” das estruturas.
- (vii) As negatividades devem ser analisadas como experiências concretas vividas por aqueles que as sofrem.
- (viii) As categorias das teorias sociais devem ser impregnadas de valores, refletindo necessidades e interesses humanos. Isso é indispensável tanto para a descrição quanto para a explicação adequada.
- (ix) O conhecimento produzido deve ser reflexivo, reconhecendo a prática científica como objeto de explicação em seus próprios termos.

Tendo isso em vista, a questão analítica orientadora desse trabalho é: *quais são as perspectivas de valor que sustentam a legitimidade das neurociências e das neurotecnologias?*

Em continuidade com o modelo dialético dos valores sociais e cognitivos, propõe-se examinar como os valores se articulam às hierarquias globais de conhecimento, especialmente nas neurociências. Para tanto, aproxima-se da análise de Lacey (2008; 2010) as reflexões de Rose e Abi-Rached (2013). Desde meados da década de 1960, na Europa Ocidental e Estados Unidos desenvolveu-se a visão neuromolecular do cérebro, herdeira da psicologia e da psiquiatria (ROSE; ABI-RACHED, 2013, p. 9). Essa perspectiva, que concebe a plasticidade como capacidade do cérebro de ser moldado pelo ambiente (Ibid., p. 13), sustenta uma “ética somática” (Ibid., p. 22) típica de sociedades consideradas liberais e avançadas (Ibid., p. 237). Embora Rose e Abi-Rached (Ibid.) registrem a relevância das estratégias materialistas, não as tematizam como problema central, enquanto Lacey (2010) demonstra o porquê de tais estratégias tenderem a dominar o campo científico. Ao radicalizar o ideal de controle sobre a natureza, as neurociências contemporâneas frequentemente endossam concepções ambivalentes da mente, são simultaneamente metafísicas e materialistas (LACEY, 2008, p. 176-178; 2010, p. 187) – essa tensão parece ser constituinte e não resolvida. Nessas estratégias, a manipulação experimental viabiliza extensões tecnológicas voltadas a transformar intencionalmente o mundo. Assim, o cérebro passa a figurar, simbolicamente, como algo que excede sua condição orgânica, reproduzindo valores de previsibilidade, eficiência e precisão.

No entanto, a autorregulação científica, ainda que guiada por altos valores cognitivos, ocorre sob condições de contorno que priorizam agendas alinhadas aos valores sociais dominantes, direcionando financiamento, temas e métodos. Essas condições correspondem ao que Fabrício Neves (2014; 2020) denominou de “*estrutura de expectativas*”. Dentro dela, tanto estratégias quanto possibilidades são hierarquizadas segundo critérios que combinam

fecundidade (valor cognitivo) e significância (valor social), gerando regimes de valor autoatribuídos pelos próprios cientistas. A retórica da inovação tecnológica opera como dispositivo classificatório. Ela distingue tecnologias “altas” ou “de fronteira”, majoritariamente situadas nos EUA/Europa e na Ásia industrializada, das tecnologias “baixas” ou “primitivas” desenvolvidas em outros locais. Tal clivagem:

- i. cria um imaginário de centralidade circunscrito ao desenvolvimento econômico, primeiro na sua vertente industrial e depois como serviços sofisticados;
- ii. legitima métricas que hierarquizam saberes conforme sua proximidade com esses polos desenvolvidos;
- iii. impõe processos de validação externa às contribuições oriundas de outros contextos, o que alimenta desigualdades cognitivas e fluxos de “*brain drain*” (fuga de cérebros).

Para ultrapassar a dualidade rígida entre centro e periferia, adota-se a tipologia do “duplo interno” que elabora quatro posições relativas:

Contexto	Recursos	Autoridade epistêmica	Estrutura de expectativas	Estratégia de valorização
Centro	Abundantes e estáveis; laboratórios de ponta	Define agendas globais; publica em grandes revistas; ampla circulação	Forte sinergia entre fecundidade e significância; mercantilização	Exporta modelos; atrai talentos (<i>brain gain</i>); vincula-se a especulação de lucros excepcionais
Centro-na-Periferia	Bolsões de excelência em contextos dependentes	Integra redes <i>core</i> , mas raramente comanda; nichos de maior protagonismo	Fecundidade alta; significância ambígua; <i>controle aspiracional</i>	Viabiliza-se via colaboração com os Centros; escolha por temas negligenciados
Periferia-no-Centro	Inserção em países centrais, porém subfinanciada	Produção contra-hegemônica; instituições de ‘segunda classe’	Fecundidade varia, significância baixa se o objetivo é mercantilização	Valoriza saberes negligenciados; aproximação com a agenda do Sul-Global;
Periferia-na-Periferia	Recursos esparsos e intermitentes	Ciência de replicação; baixo prestígio acadêmico	Interrupção da dialética; complexo de inferioridade	Foca em absorção de conhecimento; formar no Centro para atrair depois

Quadro 1: Tipologia centro-periferia e regimes de valor.

Tipologia original desta tese; futuros estudos deverão examinar convergências com abordagens similares na literatura recente.

Fonte: Elaboração própria com base em LACEY (2008; 2010) e NEVES (2020).

A tipologia do duplo interno sugere que os bolsões na periferia podem atuar como núcleos de inovação (*centro-na-periferia*), ainda que limitados pela condição de dependência, e alcançar a liderança em nichos de maior significância social – no Brasil os exemplos mais conhecidos incluem o desenvolvimento de biocombustíveis (Proálcool), a extração de petróleo em águas

profundas pela Petrobrás, as pesquisas em doenças negligenciadas, odontologia.¹⁰ Em espaços centrais existem áreas marginalizadas e preteridas (*periferia-no-centro*) que não estão revestidas de uma identificação particular com a centralidade científica (e.g.: Harvard, Oxford, MIT) e sim simbólica e precária, decorrente da geografia (e.g.: “universidade americana”, “universidade inglesa”). Na atualidade, as hierarquias são continuamente reproduzidas pelas promessas de disrupção, que traduzem diferenças em status de competência e excelência, participar do “centro” desde o centro metropolitano (EUA, Europa) ou da periferia (Brasil, África do Sul) implica disposição e capacidade para criar a revolução do amanhã. Quando há desalinhamento entre fecundidade e significância, decorrente de estratégias pouco frutíferas ou possibilidades socialmente irrelevantes, determinadas linhas de pesquisa e contextos tornam-se periféricas, e a linha de corte principal é o interesse do mercado. A promessa de benefícios coletivos, base da estrutura de expectativas que legitima os investimentos nas ciências, esvazia-se na medida em que a circulação assimétrica de recursos e prestígio é reiterada como apropriação da ciência para gerar lucros excepcionais e concentrados. Com isso se naturaliza a identificação entre contexto e excelência numa fórmula simples: o conhecimento produzido manifesta superioridade ou inferioridade, os países e *clusters* (categoria muito usada pela economia da inovação) com bom número de instituições reputadas (universidades e empresas inovadoras), com resultados traduzidos para o mercado, são os centros, em contraposição as periferias são as territorialidades marcadas pela falta de reputação e capital.

Para ilustrar o argumento, mas sem adiantar muito dos resultados. Nas entrevistas realizadas para esse trabalho, com 13 pesquisadores atuando no desenvolvimento de ICCs notou-se uma autopercepção semelhante. Uma comparação ilustra bem esse ponto, mais relacional do que puramente geográfico. Um pesquisador, atuante em um instituto de neurotecnologias no Nordeste, relatou a sua frustração no acesso a fMRI para a pesquisa. Haveria apenas um equipamento na grande cidade mais próxima, para uso do SUS, que além de muito ocupado estaria quase obsoleto. Uma experiência contrastante que o pesquisador teve na Europa, durante seu doutorado, em que era relativamente fácil o acesso. Já uma liderança paulista relatou que

¹⁰ Mariana Toledo Ferreira (2019) apresentou resultados de entrevistas com um conjunto de 46 pesquisadores atuantes no Brasil em genética humana e médica, relatando a existência de uma periferia relacional-faltante, numa condição de desvantagem para “correr”, “competir” e se “integrar” com a ciência de ponta e global. A ideia de centralidade e periferia no contexto científico implica padrões de reconhecimento que influenciam a integração da comunidade de pesquisa com o mercado. Em outras palavras, os centros nas periferias se vêm numa configuração hierárquica vantajosa do ponto de vista científico, mas secundária no tocante ao capital. A autora menciona, recuperando Shinn (Ferreira, 2019, apud Shinn, 1980), que as hierarquizações centro-periferia não são definidas puramente na dimensão dos países, há periferias no centro e centros na periferia

nos anos 2000 foram adquiridas três máquinas de fMRI através de fundos estaduais, de última geração, só para fins de pesquisa. É interessante notar que o instituto no Nordeste, apesar de ser internacionalizado, sofre de uma lacuna material para a produção de dados “precisos”, algo que apenas um fMRI viabilizaria. Contudo, ao mesmo tempo, interlocutores com experiência no exterior destacaram o diferencial dos brasileiros ao serem confrontados com obstáculos estruturais, por manifestarem criatividade para inventar soluções mais baratas e baseadas em tecnologias legadas, pela *gambiarra*. Em algum sentido, a criatividade exigida pela adaptação se torna um diferencial positivo e valorizado na periferia e uma demonstração do mérito cognitivo dos pesquisadores, isto é: alta fecundidade.

No interior dessa matriz, de um duplo interno, a ciência periférica pode exibir altos valores cognitivos sem desfrutar de igual valorização social, mesmo que de um ponto de vista científico ela seja igualmente (ou mais) fecunda. Assim, o jogo da disrupção estreita as possibilidades de coprodução de valores sociais alternativos (como solidariedade e inclusão) e passa a interromper a dialética (de reforço mútuo) entre estratégias e possibilidades, estratificando o campo científico através de critérios que não são os cognitivos (imparcialidade, abrangência, fertilidade) e sim os sociais, contudo pela perspectiva da falta de um controle preciso para atuar no mercado global. O mecanismo de relevância é coproduzido desde o centro, que constitui o ponto de vista ou a estrutura de expectativas hegemônica, que exige uma circularidade em torno da tecnologia que adentra na periferia como uma gramática ausente. A ascensão exige, portanto, importar e mimetizar via colaborações o que é na prática distintivo – a pesquisa de ponta, os equipamentos avançados, a participação nas redes científicas consolidadas – na esperança de que o interesse do mercado acompanhe o esforço de equiparação das condições de produção.

A ideia de um duplo interno visibiliza a distribuição desigual de recursos e o modo como os valores atravessam cada contexto. Em especial, revela que as posições mais centrais operam segundo expectativas ancoradas na capacidade de converter conhecimento em alta tecnologia para o mercado. Assim, se o valor social do controle sobre a natureza funciona como vetor de reconhecimento, a hierarquia se reorganiza em torno da proximidade ou distância com as estratégias materialistas capazes de produzir inovação considerada “de fronteira” ou “disruptiva”.

A afinidade entre o valor social do controle e as estratégias materialistas, fecundas na criação de tecnologias, é global e avassaladora. Consequentemente, ciências pautadas em valores sociais alternativos, como a sustentabilidade, tendem a ter suas possibilidades avaliadas

como pouco significativas, isto é, do ponto de vista hegemônico, do retorno financeiro, recebendo menor apoio e permanecendo circunscritas ao âmbito regional ou da retórica ambientalista esvaziada de prioridade. Nessa conjuntura, presença ou ausência de tecnologia avançada tornaram-se, em termos sistêmicos, qualificativos suficientes de centralidade ou periferia. As ciências localizadas no centro, orientadas pelo regime dominante, percebem como sua vocação primordial a aplicação tecnológica, idealmente, em problemas estruturais e de alta complexidade que possam gerar lucros excepcionais. Ao realizar, simultaneamente, o valor do controle e da relevância, o centro têm sua legitimidade reforçada pelas condições de contorno, caracterizadas pelo acoplamento entre capitalismo e militarismo. Por contraste, a falta de condições para aplicação tecnológica nas periferias, ainda que o conhecimento seja significativo e potencialmente fecundo, reforça a assimetria sistêmica. Essa diferenciação serve de base para os *rankings* institucionais e compõe indicadores de avaliação adotados por burocracias e organismos multilaterais, entre eles, o da capacidade inovativa.¹¹ As ciências que ultrapassam a escala regional e se tornam componentes das agendas globais, alcançam esse feito, cada vez mais, porque abordam os objetos nas fronteiras, falando sobre as condições de viabilização e especulando sobre o valor econômico das utilidades, respondendo a grandes problemas de controle e perseguindo o desenvolvimento – frequentemente um eufemismo para a busca do controle monopolista, vide todo o debate e crítica acerca das plataformas digitais.

A relevância do conhecimento científico possui uma dinâmica própria. Idealmente a competição por reconhecimento científico exige a formação de redes e regras que distinguem os “melhores” dos apenas “medianos”. Essa disputa implica oportunidades de afirmação e visibilidade que exigem dos cientistas competências de pesquisa e formação das gerações futuras, que se cristalizam na comunicação para os pares, em artigos científicos e pupilos brilhantes. Isso resulta numa corrida produtivista com características próprias, traduzida em

¹¹ Um bom exemplo de quantificação e comparação da capacidade inovativa de países é o *Global Innovation Index* (GII) publicado desde 2011 pela *World Intellectual Property Organization* (WIPO). Trata-se de um index com 7 pilares (Instituições; Capital Humano e pesquisa; Infraestrutura; Sofisticação de mercado; Sofisticação dos negócios; Conhecimento e resultados tecnológicos; Resultados criativos) e cada um deles com um conjunto de tópicos e indicadores de desempenho e investimento (cerca de 80). No ranking de 2025 o Brasil foi classificado na 52ª posição, o pilar mais favorável é o de *sofisticação dos negócios* (39ª) e os tópicos que se sai melhor são o de *impacto do conhecimento* (25ª), *pesquisa e desenvolvimento* (26ª), *absorção do conhecimento* (28ª) e *ativos intangíveis* (29ª); o pilar menos favorável é o de *instituições* (107ª) e os tópicos que se sai pior são o de *ambiente de negócios* (129ª), *educação terciária ou superior* (98ª), *ambiente institucional* (91ª) e *ambiente regulatório* (87ª). Na América Latina é o segundo, atrás do Chile (51ª), e entre os países de renda média-alta é o quinto, atrás da Tailândia (45ª), Turquia (43ª), Malásia (34ª) e China (10ª). O Brasil conta apenas, segundo os critérios da WIPO, com um único *cluster global de inovação*, a região da grande São Paulo (49ª), que patenteia principalmente tecnologias médicas. Mais informações em: <https://www.wipo.int/gii-ranking/en/brazil>. Acesso em: 13 de nov. 2025.

métricas como o *h-index* que combina número de artigos, citações, premiações e liderança em comunidades científicas.

Os valores cognitivos, embora necessários, não bastam para explicar as hierarquias, já que grupos periféricos também expressam padrões cognitivos elevados, porém recebem juízos de relevância desfavoráveis em razão das condições de contorno, que impactam negativamente a tradução desse conhecimento em algo mais que seja um diferencial. Além disso, frequentemente uma instituição periférica, sem uma posição de destaque nos rankings globais, pode ser a casa de um cientista estelar, reconhecido mundialmente, entre os mais citados num dado campo. Os processos de centralização caracterizam-se por uma forte sinergia entre estratégias e possibilidades, gerando avaliação positiva do conhecimento dentro de uma ordem social, adentrando a cultura como uma disposição compartilhada, a exemplo da inovação, como algo a ser buscado, planejado e priorizado. Em contraposição, os processos de periferização revelam descompasso, podem ser estratégias pouco fecundas ou possibilidades com pouca significância social. Neves (2014; 2020) adverte quanto ao risco de atribuir um sentido geográfico fixo para as categorias de centro e periferia, ponto que essa tese corrobora ativamente. Práticas científicas configuram-se em redes que transcendem as fronteiras e a localização passa ser um efeito de dinâmicas amplas de diferenciação. Elas implicam relações entre grupos de países distintos e ou até da mesma territorialidade, em relações múltiplas que variam da parceria, rivalidade e indiferença, com diferenças de grau igualmente importantes.¹² Mapear os centros e periferias requer, portanto, interpretar estruturas de expectativas e intencionalidades, elementos primais do engajamento científico. Assim, considerações sobre relevância e irrelevância constituem o elo fundamental entre valores sociais e cognitivos.

Então, o que acontece quando a dialética é fraca ou foi interrompida? O conhecimento pode se apresentar de duas formas, como “conhecimento acadêmico”, distante dos interesses do mercado, ou como “promessa vazia”, especulação ou *hype* que atrai capital, mas sob um custo financeiro e social muito alto, as vezes insustentável. Nesse último caso a fecundidade é insuficiente, subsiste como expectativa inflada, associada ao controle que tem como efeito, relacionalmente falando, o fechamento da vazão das possibilidades (e fecundidade) na maioria

¹² As estratégias materialistas encontram, nas condições de contorno capitalistas e militaristas os valores sociais que sustentam redes de legitimidade e relevância. Nos Estados Unidos, por exemplo, grande parcela da agenda de pesquisa mais inovadora é tocada por braços do Departamento de Defesa, como a *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), calcada no valor da segurança nacional e superioridade militar (BUOSI, 2020). Esses valores alimentam imaginários sobre o futuro e fundamentam promessas de avanço com propósitos de ordenação do mundo pelo choque entre potências e, potencialmente, pela guerra.

dos outros contextos, concorrentes. O centro frequentemente atrela a solução do mercado ao conhecimento científico, esvaziando-o de sentido e tornando-o “acadêmico”. A legitimidade no centro depende que outros contextos sejam comprometidos por esse desequilíbrio e consequente periferação. Na sua versão hegemônica a dialética entre valores sociais e cognitivos é excludente, o sucesso de um *spin-off* disruptivo é proporcional ao acúmulo de uma competência tecnológica são só superior, mas incontornável.

A dependência periférica resulta dessa assimetria estrutural: onde a incerteza no contexto central é oportunidade de especulação, no periférico anuncia-se como derrota antecipada. Não é preciso, cabe lembrar, que a tecnologia se prove viável, a viabilidade é coproduzida pela assimetria que se radicaliza, até que as contestações se tornem ecos do passado. A dialética nos centros não é superior porque valores sociais e cognitivos são forças iguais, é a significância da competição (capitalista, militar) que antecede a fecundidade e produzem condições excepcionais de viabilização (*Big Science*) – o reconhecimento da prioridade política dessa subordinação. A incerteza viabiliza a disrupção, pois um objeto ontologicamente indeterminado, ao estar fora do alcance de uma avaliação definitiva da ciência, aquela dos “altos valores cognitivos”, compensa com a inflação da significância social que passa a operar como eixo de sustentação, de que o controle se realizará. No centro, frequentemente, a possibilidade antecede a demonstração, na periferia, apesar da eventual demonstração, atrasada, a possibilidade foi a “janela perdida”, a imobilidade perante a indeterminação de uma revolução tecnológica, da impossibilidade de forçar a dialética no sentido da translação para o mercado. A dialética no centro funciona à custa da crise advinda da destruição de possibilidades outras, irrealizadas, nas periferias. A restauração da dialética em outros termos exigiria mudanças nos valores sociais e não apenas ajustes técnicos.

Nesse ponto, o que descrevemos aqui lembra muito a metáfora do “anjo da história” de Walter Benjamin (1893-1940). No livro *post-mortem*, editado por Hannah Arendt, intitulado “*Illuminations*” (2019), Benjamin desenvolve uma imagem poderosa, na qual o passado precisa ser “redimido” e criticado, por ter sido feito de instrumento da classe dominante. Essa redenção está acompanhada, invariavelmente, da contemplação dos horrores, do barbarismo documentado e cometido em nome da civilização, que posiciona a opressão no presente como um estado perpétuo de emergência do fascismo. Benjamin foi um intelectual profundamente traumatizado pelo nazismo, e sua caracterização do “*angelus novus*” é carregado de um simbolismo ao mesmo tempo trágico e potente:

Seu rosto está voltado para o passado. Onde nós percebemos uma cadeia de eventos, o anjo vê uma única catástrofe que continua empilhando escombros sobre escombros e os lança diante de seus pés. O anjo gostaria de ficar, despertar os mortos e recompor o que foi despedaçado. Mas uma tempestade sopra do Paraíso; ela se prendeu em suas asas com tamanha violência que o anjo não consegue mais fechá-las. Essa tempestade o impele irresistivelmente para o futuro, ao qual ele dá as costas, enquanto a pilha de escombros diante dele cresce em direção ao céu. Essa tempestade é o que chamamos de progresso. (BENJAMIN, 2019, posição 3702 do e-book).

Benjamin crítica no mesmo ensaio os “marxistas vulgares” por reconhecerem o controle da natureza e ignoraram os sinais da regressão da sociedade, da degeneração da tecnocracia em fascismo, e por partirem da mesma concepção liberal da natureza como recurso manipulável, corrompendo o próprio trabalho. Nesse sentido, podemos nos perguntar: quem sofre as consequências de uma dialética corrompida e destrutiva em funcionamento?

As condições de legitimação que beneficiam as ciências estendem-se para outras esferas sociais. A eficácia explicativa das ciências advém não só da competência técnica, mas também da crescente ubiquidade, na vida prática e cotidiana, das tecnologias avançadas que viabilizam:

Quanto mais completamente esse controle moderno manifesta-se nas instituições sociais, tanto mais a experiência vivida torna-se dominada por objetos tecnológicos e assim explicável pelo entendimento materialista. [...] A ciência exerceu um papel na produção do mundo da experiência vivida que ela mesma deve explicar. (LACEY, 2008, p. 172)

A legitimação da ciência moderna funda-se na convergência entre valores sociais (controle), estratégias (materialismo) e inclinações políticas (capitalismo democrático, militarista), constituindo um tipo situado de conhecimento – a tecnociência. Ainda segundo Lacey:

Talvez algumas das condições de contorno completamente caracterizadas por categorias materialistas possam ser produzidas apenas em estruturas sociais particulares. Talvez novas estruturas sociais coloquem em existência relações materiais até então impensáveis. (LACEY, 2008, p. 193)

Essas relações posicionam as neurociências e outros campos de fronteira, em patamar de alta relevância, autorizando a concepção e o governo de objetos que estão fora de controle por hora, segundo imaginário de progresso incessante. Promessas triunfalistas anunciam que avanços tecnológicos dissipariam incertezas no futuro, oferecendo uma nova compreensão da natureza humana, inseridas numa concepção uniformizadora de modernidade, tais promessas convergem para o telos do controle tecnocientífico. Charles Taylor (2004) diz ser equivocada a caracterização da modernidade, de um ponto de vista teórico, como uma dinâmica de superação das visões espirituais. A modernidade assim entendida implicaria uma teleologia da

convergência entre os diferentes, uma marcha em direção a uma “*prisão etnocêntrica*” onde os outros terminariam parecendo com os modernos, a metrópole ocidental, também liberados das antigas crenças por supostas verdades centrais. Contudo, a modernidade não é neutra, está numa relação de simbiose com as direções morais antecedentes e situadas em relações frequentemente paradoxais. Não podemos derivar da influência do poder que, portanto, as ciências sejam compatíveis com uma posição inflexível e radicalmente unilateral – reduzindo-as ao controle. Mas, ao mesmo tempo, a ampla legitimidade implica o recurso de noções acerca da verdade, da dignidade e do bem, que podem ser sim excludentes. A história da ciências tem sido marcada por graves desvios que em algum momento foram aceitos como científicos. A eugenia, por exemplo, foi um projeto científico e atraiu mentes brilhantes, como o laureado James Watson (1928-2025), que ao lado de Maurice Wilkins (1916-2004) e Francis Crick (1916-2004) descobriu a estrutura de dupla hélice do DNA.¹³

Faz parte da própria condição humana ter de sustentar valores, sem alguma continuidade na reprodução deles o que veríamos seria apenas rupturas, se não houvesse alguma continuidade, por falta de um ponto de referência, tampouco poderiam ser identificados. Nesse sentido, a vida cultural dos povos e os valores que sustentam atravessam eras e ligam gerações. É claro que transformações e revoluções ocorrem, mas não de maneira abrupta, num corte limpo e permanente, como se num único evento todos aqueles valores mais prezados por uma dada coletividade, numa dada época, pudessem ser substituídos por uma composição totalmente inédita. Uma negação absoluta desse tipo sequer é plausível, pois ignora o fato de que aprendemos a pensar e imaginar o mundo através de relações comunais, com outras pessoas orientadas por crenças, visões espirituais e cosmológicas, que se conduzem segundo aquilo que acreditam ser melhor. Com as ciências não é diferente.

John Dewey (1859-1952), expoente do pragmatismo crítico, enfatizou a indissociabilidade entre fato e valor na prática científica. Dewey criticou o dualismo entre ciência e política, sustentando que a investigação científica não pode ser alheia ao contexto social. Em “*The Public and Its Problems*” (1927), ele rejeitou a noção de neutralidade e defendeu que a democracia é o meio mais viável para atender ao interesse público. Já em “*Logic: The Theory of Inquiry*” (1938), Dewey reafirmou que o processo de investigação é intrinsecamente cultural, de modo que mesmo a lógica científica permanece atrelada à sua

¹³ “O Nobel que caiu em desgraça por defender que negros são menos inteligentes, sem respaldo científico”, Redação da BBC News Mundo, 11 de nov. 2025. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cp8yp81k336o>. Acesso em: 13 de nov. 2025.

matriz cultural. (DEWEY, 2009) Em “Experience and Nature” (2012) Dewey afirma que os valores são objetos contextualizados de reflexão crítica e caberia a filosofia apreciá-los (refinar, reordenar e moldar) à luz das condições empíricas, que são tanto naturais quanto sociais, objetivas e estéticas, para mitigar o acaso e tirar melhor proveito (progresso) da ciência e tecnologia (entendidas como forma de arte e extensão prática do método inteligente). O autor destaca a perplexidade que acompanha a modernidade, ela é simultaneamente abundância material, efeito do controle sobre a natureza, e confusão intelectual, uma dificuldade em compreender a transformação das crenças em relação às conclusões das ciências. Dewey entende o progresso de modo inseparável da crítica e da experiência humana, não se trata apenas de avanço técnico ou conhecimento factual, mas da capacidade de controlar os riscos, de buscar por “objetos melhores”, mais efetivos e significativos.

Dito isso, de que maneira expandir os critérios de relevância, para além da alta tecnologia? Quais aspectos das condições das periferias podem se tornar diferenciais de reconhecimento da excelência? O modo como será formulada a resposta para essas questões passa pela atenção aos imaginários. Nesse sentido, a tese pretende mobilizar o conceito de “*imaginários sociotécnicos*” e o “*idioma da coprodução*” como um espaço analítico, onde os valores sociais e cognitivos são performados (Jasanoff, 2004). Na seção seguinte é elaborada, se bem mais como um ensaio do que uma resposta acabada, uma análise coproducionista das neurociências, dedicada aos aspectos centrais delas, situados no contexto central, caracterizados pela literatura pela ideia de “*soma*” ou “*ética somática*”

2.1. Aportes dos Estudos CTS: idioma coproducionista

À luz da teoria dos valores, este tópico aprofunda a contribuição dos Estudos CTS. Lacey (2008; 2010) sustenta que as ciências exibem perspectivas de valor nunca totalmente unificadas; Taylor (2004) denomina tais matrizes de “entendimentos de fundo”, enquanto Neves (2020) as conceitua como “regimes de valor” ou “estruturas de expectativas”. Todos convergem ao rejeitar a noção da ciência como bloco homogêneo: *cientistas lidam com valores em meio a um contexto de tensões permanentes, refletidas em suas biografias e nas comunidades (campos, disciplinas, redes) que integram*. As neurociências, embora hegemônicas pela estratégia materialista (para alguns reducionismo aos mecanismos e correlatos físico-químicos), fazem parte desse mosaico. Estratégias orientadas pela experiência, que priorizam elaborações subjetivas, contemplativas e fenomenológicas, calcadas na narração biográfica e sensações, ou harmonia com a natureza e comunidade, são rotuladas como equivocadas (*o self é uma ilusão*,

um epifenômeno da evolução) ou românticas (*o controle tecnológico é uma marcha implacável e os riscos inevitáveis*). Todavia, a simples existência delas, manifestada nas alternativas, evidencia uma luta interna.¹⁴

Esta tese adota o *idioma da coprodução* de Sheila Jasanoff para desenvolver os resultados da pesquisa teórica e empírica, tanto por sua clareza conceitual quanto por se alinhar com o objetivo de quebrar em pedaços menores a dialética entre valores sociais e cognitivos, num mosaico ou quebra-cabeça. É um esforço, tomando de empréstimo uma noção kuhniana, de “ciência normal” dentro dos Estudos CTS, já que não pretende substituir tradições consolidadas – a teoria dos valores, o idioma da coprodução, a tipologia centro-periferia e sim uma articulação de maior nível, estendendo-as para um novo objeto (as neurociências, as Interfaces Cérebro-Computador). Jasanoff no texto inaugural “*The co-production of science order*” (2004) parte de três “*assinaturas*” da ciência contemporânea – a *alta incerteza ontológica*, *desresponsabilização* e *velocidade transformadora* – e argumenta que elas geram experiências sociais palpáveis na experiência pessoal, dos indivíduos e grupos:

- (i) De ceticismo, alienação e desconfiança com a política e o espaço público;
- (ii) De redução, padronização e classificação dos agentes segundo critérios de normalidade e desvio;
- (iii) De desestabilização ou desequilíbrio, decorrente do confronto entre visões opostas, simultaneamente de progresso e ruína.

Entre os problemas centrais, Jasanoff destaca em “*The ethics of invention*” (2016) o potencial catastrófico da ciência como ameaça a vida, a sociedade e dignidade humana. Aquecimento global, desigualdade crescente, expropriação digital são exemplos da ameaça latente e da necessidade de um saber holístico e cauteloso sobre como governar a reconfiguração da experiência e da natureza como parte das dinâmicas sociotécnicas. A autora, em “*Can science make sense of life?*” (2019), escreveu sobre o campo da agricultura e biologia sintética (biotecnologia) nos Estados Unidos e notou como a abordagem materialista justificou e transformou o *biopoder*, resultando num reducionismo que deslocou a compreensão do corpo (concepção original, foucaultiana) para a manipulação dos mecanismos, blocos e conceitos mais básicos – moléculas, células, genes. Contudo, também destacou as resistências, como a

¹⁴ Bourdieu (2007) oferece uma lente de análise interessante para os conflitos pelo conceito de *habitus*. A perspectiva do autor conversa com o argumento aqui desenvolvido, de que assimetrias entre disposições pessoais, mais as normas de campo e os processos de institucionalização, implicam lutas por valores (seja para preservá-los ou transformá-los).

“Nova Biologia” proposta pelo biólogo Carl Woese (1928-2012), que defendeu a retomada de uma compreensão holística e não linear da relação entre vida e mundo.

Coprodução significa, no contexto dos estudos de caso que Jasanoff convocou, relatos da manifestação simultânea entre conhecimento e materialidade, de práticas mais trabalho e ordem social mais história, algo que ela chamou de “*relatos coproduccionistas*” ou “*biografias sociotécnicas*”:

[...] concebidos dessa forma, evitam as acusações de determinismo natural e social que apareceram nos recentes debates acadêmicos em torno do campo dos estudos de ciência e tecnologia, incluindo as infames “guerras científicas” dos anos 1990 [...]. A ciência, no quadro coproducionista, não é entendida como um simples reflexo da verdade sobre a natureza nem um epifenômeno de interesses sociais e políticos. Em vez disso, a coprodução é simétrica na medida em que chama a atenção para as dimensões sociais dos compromissos e entendimentos cognitivos, ao mesmo tempo em que ressalta os correlatos epistêmicos e materiais das formações sociais. (JASANOFF, 2004, p.3)

Já os **imaginários sociotécnicos** falam de visões coletivas, aspirações de futuros desejáveis, estabilizadas via instituições, publicamente performadas na esfera política, que dependem de entendimentos apoiados em ciência e tecnologia, ou num sentido mais abrangente, em conhecimento sistemático. É um conceito que opera, na articulação teórica que aqui empregamos, na interface entre possibilidades (*fecundidade do conhecimento*) e estratégias (*significância das aplicações, geralmente orientadas para o controle da natureza*) e se materializa nas regulamentações, investimentos, infraestruturas, currículos e políticas públicas, que de modo combinado formam trajetórias (a tecnociência).

O **conflito** no idioma coproducionista é entendido como uma forma de engajamento sistemático meio às dimensões da legitimidade percebida e as possibilidade práticas, do que é possível fazer enquanto coletivos e a tradução dela em assimetrias. É crucial distinguir o princípio da simetria do relativismo. O primeiro nega a primazia causal do natural sobre o social e vice-versa, abandona como recurso de legitimação a busca da neutralidade. O segundo afirma que todas as explicações são igualmente válidas, que a ciência é uma expressão cultural entre outras. Quando reconhecemos os mecanismos da coprodução iluminamos justamente a não equivalência das explicações, embora sem cair na ingenuidade positivista de que há um objeto externo e passivo. A prática científica exige dos praticantes reivindicações sobre um acesso privilegiado ao objeto, mediado por tecnologias avançadas, instituições, escolas de pensamento e teorias, melhor e mais relevante do que o demonstrado pelos pares. Nessa disputa, frequentemente escamoteiam as condições sociotécnicas de sua própria produção alegando

neutralidade e aí está o problema. O ponto de junção são os imaginários, nos quais a hipertecnologia (o controle sobre a natureza) evoca e agrupa agentes (cientistas, políticos, empresários, cidadãos) para reconfigurar a sociedade e coproduzir conhecimentos autorizados, legítimos.

Jasanoff (2004) se apropria do conceito de “comunidades imaginadas” de Benedict Anderson (1936-2015) para caracterizar os imaginários sociotécnicos, recuperando a definição calcada na memória e no esquecimento de práticas, nas escolhas e exclusões que ocorrem no plano coletivo. Entretanto, a autora deu maior abertura em seu trabalho para as “políticas ocultas da subversão”, que geralmente escapam dos estudos que focam nas narrativas dominantes. Também mobilizou o conceito de “jogos de linguagem” de Ludwig Wittgenstein (1889-1951) para articular os signos como uma atividade integrada a vida e não como unidades representacionais. (JASANOFF, 2015, 2019)

Em resumo, de um ponto de vista dos estudos CTS, o idioma coproducionista articula duas tradições:

- (i) Constitutiva: tratou da formação de sistemas de pensamento e significado, desenvolvida pela Escola de Edimburgo (Bloor), pelos filósofos da ciência – como Taylor, pela Teoria Ator-Rede (Latour) e as Teorias do Estado (Anderson e Scott);
- (ii) Interacional: tratou da autoridade e credibilidade, associada à tradição pragmáticas estadunidense (Dewey).

São instrumentos do idioma da coprodução:

- (i) a “feitura” [making] de “identidades”, “instituições”, “discursos” e “representações”;
- (ii) a descrição histórica e processual segundo os temas da “emergência/estabilização”, “controvérsias/contestações”;
- (iii) “estandardização/padronização” e “enculturação/ajustamento”;
- (iv) a articulação dos domínios “social”, “material”, “cognitivo” e “normativo”.

Contra as leituras que supõem homogeneidade global (de um *telos* comum e linear de progresso) ou determinismo tecnológico (utópico e distópico), Jasanoff (2004) frisou a coexistência de narrativas contraditórias, relações com variados graus de confiança e a necessidade de estudos de caso que explicitem as ambiguidades e reconheçam o papel da agência humana, inclusive na resistência através de imaginários alternativos. O entendimento que a tese defende é o de que os relatos coproducionistas possibilitam relacionar a dimensão empírica, de estudos de caso, com teorias dinâmicas e diferencialistas da ciência, como a de Lacey, mas sem fetichiza-las, funcionando como um antídoto contra generalizações irrestritas. O idioma coproducionista reconhece que a experiência vivida escapa aos melhores esforços

teóricos, que não é possível esgotá-la através do apelo aos fatos universais. Contudo, tampouco exige o abandono do esforço teórico em si, desde que seja posicionado como um modelo para refletir criticamente sobre dinâmicas globais dentro de uma tradição específica (os Estudos CTS). Com efeito, possibilita preservar nuances (frequentemente contraditórias) e atualizar (até mesmo testar, via uma sociologia compreensiva) teorias de maior alcance. Isso implica diferenças de nível em que a estruturas (dominância) e as práticas (heterogeneidade). Ao mesmo tempo que a afinidade com o valor do controle é a condição central de possibilidade da ciência, na prática há ambiguidades e exclusões, o que se manifesta, nas periferias, como descompasso crônico entre fecundidade e significância. Desenvolvendo a analogia de Lacey, a estrutura como condições de contorno (capitalismo, militarismo) delimitam dinâmicas e processos abrangentes, mas no interior há alguma liberdade, autorregulação e pluralidade cultural. O ponto de ligação entre estruturas e prática é a localização na configuração centro-periferia: a dominância do controle produz as posições, mas as práticas as habitam de modo diverso. Conectando com o idioma da coprodução, a feitura das instituições corresponde com a dimensão estrutural (o materialismo “venceu”), as controversas com as práticas (conflitos internos de cada campo) e os processos de emergência são a ligação entre níveis e geralmente operam de modo a estreitar a heterogeneidade, contê-la de modo que caiba no capitalismo e militarismo.

A feitura da ética somática, ancorada na coprodução dos entes biológicos, práticas de pesquisa, padronização e normatização (entre o normal e o patológico), estabiliza o imaginário sociotécnico sobre o cérebro e legitima a tecnociência, é esse processo de emergência que buscamos explorar nessa tese. Todos os humanos são interpelados como “somas”, porém a vivência é radicalmente desigual. Na seção seguinte, que conclui esse capítulo introdutório, buscamos caracterizar a relação entre conhecimento científico (pela perspectiva dos valores sociais e cognitivos) e ordem social, se atentando a manifestação dela nas tecnologias médicas que implicam noções sobre o que é estar vivo e pertencer a uma comunidade. No contexto das neurociências, o imaginário implica uma dinâmica particular entre possibilidades (conhecimento material do cérebro) e estratégias (intervenção, cuidado e otimização) que evocam dimensões políticas e econômicas, além das assimetrias de poder e autoridade que lhes são características.

O idioma da coprodução e seus instrumentos servirão, nos capítulos subsequentes, para testar a hipótese de que o valor social do controle estrutura a legitimidade das ciências, sem reduzi-la a mero reflexo de interesses externos e nem endossar o argumento de neutralidade. Também será utilizado, na segunda parte desse trabalho, para discutir a Política Científica e

Tecnológica (PCT) do Brasil, como o contexto mais geral. Ao combinar o regime de valores de Neves, as perspectivas de Lacey e Taylor e o idioma de Jasanoff, esta tese constrói uma ferramenta analítica para acompanhar a circulação de valores, evidenciando convergências em torno do controle tecnocientífico e fissuras geradas por disputas internas ao campo das neurociências.

2.2. A coprodução dos valores no contexto somático

A emergência das biotecnologias e das neurotecnologias foi marcada pela Guerra Fria e um imaginário de progresso linear que implicava a crença de que o investimento em ciência básica resultaria, por derramamento, em prosperidade social e econômica para a humanidade. Entre os anos 1950 e 1970, com um forte apoio estatal à ciência, o movimento de formação de campos especializados em questões fundamentais sobre a natureza, de uma perspectiva das engenharias se estabilizou e ganhou impulso diversificador. A (pretensa) neutralidade da descoberta científica legitimava o amplo apoio, combinando a busca do conhecimento à utilidade geral, num contexto de corrida tecnológica entre potências e disputas geopolíticas – a exemplo da corrida espacial entre Estados Unidos (EUA) e Rússia e, mais tarde, pela liderança no setor eletrônico entre EUA e Japão.

O controle da natureza exige o conhecimento sistemático das bases materiais da existência, em toda sua complexidade e incerteza – as ciências sabem que desconhecem a realidade material e manifestam um imaginário de expansão dos limites do saber. Sob tal lógica, as biotecnologias e neurotecnologias foram recebidas como campos desafiadores e dignos da priorização política. Descobertas como a estrutura do DNA (1953) e a plasticidade cerebral (anos 1960) ativaram expectativas de que tecnologias futuras tornariam a vida mais produtiva. A questão relativa ao ônus seria quanto ao esforço, em tempo e custo financeiro, que a utopia do controle exigiria dos cientistas, Estados e empresas. Ao mesmo tempo, crescia a consciência dos riscos que a ciência e a indústria estavam produzindo; as monstruosidades e profanações que ameaçavam a própria sustentabilidade da vida.¹⁵ À medida que pretensos benefícios se avolumavam, os riscos existenciais também se tornaram mais visíveis: acidentes, desigualdades, armas de destruição em massa. A reação dominante consistiu em reforçar a própria tecnociência, agora voltada a mitigar os perigos que ela mesma engendrava. Assim, a

¹⁵ Críticos apontavam que o poder destrutivo decorrente do progresso técnico comprometiam os benefícios a longo prazo – vide a publicação de “Silent Spring” (1962) da bióloga Rachel Carson (1907-1964), base do movimento ambientalismo moderno, e o ativismo estudantil no contexto da Guerra contra o Vietnã (1955-1975), com as denúncias ao uso do “agente laranja”, um herbicida agressivo que contaminou o solo e a população local.

estratégia materialista passou a incorporar a gestão de risco como segundo horizonte normativo. Em outras palavras, junto a utopia do controle, que aparentemente se estabilizava pela proliferação de utilidades (carros, eletrodomésticos, comunicação instantânea, fertilizantes, pesticidas, antibióticos, a lista é longa), emergia um senso de urgência sobre os riscos da civilização ocidental, a consciência do declínio vindouro. (BECK, 2011)

Esse temor atingiu a biotecnologia, levando a contestações sobre a chamada “revolução verde”, que deixava atrás de si um rastro de impactos sociais e ambientais muito negativos e colocaram as sementes transgênicas no centro do debate público nos anos 1980, um tema muito explorado pelos Estudos CTS (LACEY, 2010; JASANOFF, 2019). Junto ao controle proliferavam as ambivalências, o sentimento de desestabilização que nos fala Jasanoff (2004), provocado pelo confronto entre visões de progresso e ruína. Já com o fim da Guerra Fria, nos anos 1990, a resposta para tal desequilíbrio tomou forma e ela dobrava a aposta no progresso tecnológico – apesar dos esforços de contenção, bem exemplificados pela agenda contra o aquecimento global, que se tornou algo como agir para *evitar o pior* ou *ganhar tempo mas sem resolver o problema*. Com ‘dobrar a aposta’ queremos dizer que o desenvolvimento tecnológico passou a considerar não só o controle da natureza, mas também o controle dos riscos para salvar o progresso. A ideia de fronteira manifesta, desde o início, não apenas o que se desconhece sobre a materialidade da natureza, mas também os efeitos não pretendidos de um controle incompleto sobre coisas as quais são se sabe o que são. O problema de fundo continua a ser ontológico. Assim, o valor do controle se descola da materialidade para a incerteza e na melhor das hipóteses para as probabilidades e estratégias de mitigação.

As ciências da vida, bio e neuro incluídas, ocupam em razão de seus objetos – a vida, evolução e o cérebro – posições de destaque. A consciência dos riscos também é uma consciência dos processos de *somatização*, de como se reforçam ou se neutralizam na experiência corpórea e vivida pelas pessoas. O que parece alimentar pode envenenar; o que parece estimular o aprendizado pode entorpecer; o que parece curar pode aprofundar desigualdades sociais. Com a somatização a consciência do desequilíbrio se manifesta num convívio íntimo com paradoxos de difícil superação no plano coletivo e individual. Com as neurociências e neurotecnologias não têm sido diferente. As promessas de tratamento do sofrimento psíquico e neuronal, ou do corpo que por alguma razão não responde a consciência, convivem com possibilidades de revés, da privacidade violada ou da distorção autonomia em dependência ou vício. O desenvolvimento tecnológico passa conceber o fracasso desde a concepção da disrupção, para identificar soluções e restabelecer a confiança de que a estratégia

materialista, baseada no valor do controle, é a mais legítima. Esse é o imaginário que mais frequentemente emerge dos paradoxos de natureza científica, quando a incerteza se impor e a tecnologia falhar, as contramedidas já estarão em curso e os colaterais sob controle.

As fatalidades manifestam algo como uma segunda natureza, aquilo que se desconhecia até então e as implicações dessa mutação para a sociabilidade são constitutivas porque são inescapáveis e imprevisíveis. Idealmente a consciência dos riscos produz um tipo de conhecimento científico mais adequado, completo e seguro. Contudo, na prática, na ordem social dominante, manifestam a *hubris*, a confiança excessiva no que se sabe, a subestimação do que não se sabe, a pressa em chegar primeiro e colher os frutos do pioneirismo e do poder (JASANOFF, 2003). Nesse sentido, a linha que se traça entre o que é tolerável e o que é inadmissível repercute a dialética entre valores sociais e cognitivos, como polos interdependentes. Tal dinâmica viabiliza, mesmo que a estabilização da solução seja provisória ou exija desenvolvimentos futuros – a exemplo das atuais neurotecnologias, mas com outras também, com a edição genética no passado recente – uma licença ética para que os benefícios e malefícios coexistam e uma autoridade para instituições regularem o processo.¹⁶

Sob inspiração foucaultiana, diferentes autores identificaram a emergência do biopoder, que incitou pela disciplina maximização das potencialidades corporais em benefício da gestão das populações (FOUCAULT, 2010; HAN, 2015) e sua transmutação para abarcar os menores componentes, sob a perspectiva da engenharia em múltiplos níveis, da vida em nível molecular até os ecossistemas (JASANOFF, 2019). Enquanto, num primeiro momento, o biopoder esteve atrelado com uma visão de Estado para as populações, que na sua forma autoritária convergiu para a eugenia e seu projeto de purificação racial, no segundo passa a operar sob a lógica de

¹⁶ Em novembro de 2025 a UNESCO divulgou as *Recomendações éticas em neurotecnologia* e dedicou toda uma seção para valores e princípios, principalmente autonomia, liberdade, privacidade (esses três primeiros no contexto da autodeterminação e consentimento), igualdade e diversidade (no contexto social), além dos riscos de um revés autoritário, entendido como a possibilidade de vigilância, vício, manipulação e coerção. O documento possui um viés protetivo da atividade do sistema nervoso, definindo-a como “*instrumental nas interações sociais e culturais*” e reconhece que as neurotecnologias transcendem as aplicações médicas e diferenciam instrumentos de mensuração/ análise dos de intervenção. As Interfaces, aqui, são apresentadas como um caso híbrido. Apesar de se tratar de um tema muito contestado, se é ou não viável, a recomendação aborda a possibilidade de melhoramento de capacidades mentais ou físicas na educação, trabalho e consumo de massa. Contudo, recomenda a priorização das aplicações médicas mais acessíveis em prevenção, diagnóstico, tecnologias assistivas ou reabilitação. Um dos tópicos abordados, o da proporcionalidade, é particularmente interessante, pois articula benefícios, valores, contexto e evidências científicas para lançar as bases de uma governança das neurotecnologias. Um outro, da confiança e da transparência, destaca a necessidade que se dê ao público boas razões para confiar nas neurotecnologias, incluindo a mitigação dos riscos. Outros pontos de destaque do documento são: convergência com IA e realidade virtual; defesa da participação pública e comunidades; proteção da infância, velhice e pessoas com deficiências; recomendação de estudos de avaliação com enfoque nos impactos no(a): Direito, Economia, Desenvolvimento (riscos e benefícios), Privacidade (dados neurais) e Ética. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000394866>. Acesso: 17 de nov. 2025.

mercado, do indivíduo com acesso às intervenções biotecnológicas de ponta e se integra aos grupos ou estratos sociais mais afluentes pelo consumo. Para Foucault (2010) as formas de governar a vida seriam marcadas pela subjetivação de uma ética pautada pelo cuidado de si. Os efeitos dessa ética repercutem em práticas cotidianas que visam tirar o máximo proveito das potencialidades do corpo, de modo a promover um sujeito desejável e produtivo, que na fase atual consome extensivamente inovações em TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação) e saúde. A dinâmica da produção capitalista desses bens, como as terapias, os fármacos, dispositivos médicos, tão essenciais para o alívio do sofrimento, incorpora de maneira explícita o valor da competição nas formas mais atuais do biopoder. Há toda uma literatura que tratou dos efeitos da competição como um princípio da ordem liberal e como é promovida pelas instituições, bem como a defesa ideológica desse valor. (ROSE; ROSE, 2016; STEVENS; MAASEN; SUTTER, 2007; NEWMAN, 2019; JASANOFF, 2019). Seguindo essa linha, muitos estudos têm dedicado atenção para o biopoder sob uma perspectiva crítica da responsabilização do indivíduo e da utopia de uma “*saúde perfeita*”, muito própria e característica do ocidente rico (ORTEGA, ZORZANELLI, 2010, p.73-74; ZORZANELLI et al., 2014).

Por outro lado, fármacos e dispositivos médicos são necessários. Pacientes reconhecem na tecnologias médicas garantias intersubjetivas de que sua autonomia será zelada quando for, eventualmente ou cronicamente, prejudicada por uma doença e relativizar o direito ao acesso seria um retrocesso civilizacional, principalmente no Brasil, dada a importância do Sistema Único de Saúde. Essa expectativa de que haverá algo a ser feito no futuro, de que alguma recuperação é possível, de que talvez seja possível viver normalmente, mesmo que não exista uma cura definitiva, cria as condições intersubjetivas para que a pessoa atingida lide com um contexto particular de ruptura, ligando-a com outras pessoas através de relações de solidariedade, como médicos, cientistas, engenheiros e terapeutas. As tecnologias médicas são artefatos dotados de agência. Ao confiar ou ter confiado seu corpo às instituições científicas e médicas, sob a expectativa de uma melhora palpável, uma maior autonomia, emerge historicamente um sujeito que se percebe como uma “*soma*”, a identificação do sujeito com as potencialidades materiais que juntas formam um organismo, a complexa combinação de subsistemas funcionalmente inter-relacionados (NOVAS; ROSE, 2000). O conhecimento sobre as bases da vida, a formação de diferentes tecidos e órgãos, a interação do organismo com seu meio ecológico e social, juntos informam a produção de uma identidade somática.

A emergência da soma implica a disputa pelo valor da autonomia. Por um lado, veja o caso de pessoas com Parkinson que são beneficiadas pela estimulação elétrica (*Deep Brain Stimulation* - DBS) que reduz a frequência dos tremores. Por outro lado, as situações em que o sujeito utiliza uma dada substância ou dispositivo para se sentir “*mais que bem*”, visando desempenhar um conjunto de funções num patamar “*ótimo*”, como os universitários estudados por Margit Anne Petersen e colaboradoras (2015) que utilizam Adderall, Ritalina e Modafinil para “*salvar tempo*” e “*afastar a preguiça*”, com o intuito de superar a performance de seus colegas e tirar boas notas. Nesse segundo caso o que está em jogo são vantagens competitivas. Mas, o que situações tão díspares possuem em comum, quando reduzidas ao essencial? Essa ética somática encontra, no nível das interações, um indivíduo preocupado com o registro e monitoramento de seus indicadores vitais, atento para os processos biológicos mais fundamentais e suas implicações sistêmicas, algumas vezes confiante de sua capacidade de agir de maneira preventiva e precisa nesses processos. Resumidamente somatizar significa três coisas:

- (i) conectar as diferentes escalas, do molecular ao organismo como um todo, para identificar os processos de adoecimento e cura;
- (ii) entender suas relações intrínsecas e extrínsecas com o meio ecológico e social;
- (iii) administrar as circunstâncias que decorrem da própria vulnerabilidade de se estar vivo, inclusive os riscos.

Os sentidos atribuídos a identidade somática se ligam às estratégias materialistas, pois elas oferecem um enquadramento que permite responder a questões ontológicas e subjetivas. Articulam num contexto rico em valores as intencionalidades e coletividades, manifestando identidades. Somatizar, como modo de condução de si no mundo, implica instituições capazes de estabilizar as possibilidades que derivam dessa forma particular de controle. Frequentemente se confundem com concepções mais gerais do que é bom, de modo que a disponibilidade de uma dada tecnologia médica pode ser vista como um direito, compondo uma espécie de mínimo social acerca do que é essencial para a dignidade humana. Em outros como uma vantagem, um privilégio dos que possuem os recursos para acessá-la como um serviço ou mercadoria.

Pensando com Jasanoff (2004), podemos observar a feitura das identidades somáticas pelos modos de engajamento dos sujeitos com as práticas biomédicas, que passam a dizer algo sobre as pessoas e coletivos, imbricando biografias e instituições – frequentemente pelo acesso a tecnologias de monitoramento e intervenção. A estabilização dessas práticas exige um imaginário radicalmente materialista, que na sua forma mais recente é orientada para a tradução da realidade em informação e dado digital, em direção a uma medicina personalizada e de

precisão. Os discursos que circulam entrelaçam o conhecimento de ponta, como as imagens de alta resolução e funcionais do cérebro humano aos valores sociais e cognitivos. O amanhecer de um era renovada, de um controle fortalecido, com as biografias das pessoas que se responsabilizam pelo cuidado de si, que aderem a um projeto de otimização. Entretanto, os futuros corporais desejáveis variam. Pode ser a busca da longevidade, de gozar da vida possível sem sofrimento; pode ser a recusa da velhice, de um corpo sempre jovem; pode ser do aprimoramento, da superação das limitações humanas; pode ser do cuidado, de encontrar amparo ou cura para uma condição difícil. As orientações são diversas. O que importa, para o argumento que construímos aqui, é característica ativa dos sujeitos na coprodução de conhecimento e dos modos de ser e estar no mundo (ontologias).

Se “[...] *a orientação para o bem não é um elemento extra-opcional, algo que podemos aceitar ou não a vontade, mas um requisito de nossa condição de self como uma identidade.*” (TAYLOR, 2013, p.96), então a identidade somática possui uma dimensão histórica, de espaços compartilhados de narração e interlocução. Quando se fala sobre os corpos, localizando-os materialmente no mundo, também se constrói relações práticas de compromisso simbólico, moral e político. Elas não ocorrem num espaço planejado e homogêneo: o corpo é um ente múltiplo e suas partes estão cercadas de considerações distintas, especialmente o cérebro. Por um lado, objeto de investigação, feito de carne, complexo, animalesco; de outro substrato de experiências que parecem sublimar algo mais do que biológico, excepcional, divino.

A proposta é observar essa dupla condição pela lente da coprodução. Ao passo que a tecnociência avança no conhecimento das estruturas e funções materiais ela reconstitui o que é ter uma mente, ser uma pessoa e pertencer ao gênero humano. Contudo as tecnologias, circulam desigualmente e o amplo acesso não é o objetivo da indústria farmacêutica ou de instrumentos médicos. A ética somática não é para ser vivenciada por todos e mesmo quando abrangente é segmentada. Para alguns o acesso significa otimização para competir, para outros inclusão. Para muitos, se não maioria, é apenas ficcional ou sequer conhecida.

Os resultados da pesquisa indicam que no Brasil busca-se construir uma ética pautada pela reabilitação e assistência. Há uma consciência por parte da comunidade que desenvolve Interfaces Cérebro-Computador que a realidade periférica é distinta da central, mais receptiva as visões especulativas de aprimoramento e uso comercial. A visão subjacente no contexto brasileiro ressalta a inclusão de coletivos excluídos, particularmente pessoas com deficiências

ou sofrimento psíquico, numa tentativa de reatar a dialética não pelo apelo ao mercado, mas ao Sistema Único de Saúde.

2.2.1. O cérebro como objeto privilegiado

Em Julho de 1990, George Bush fez um discurso que proclamava a década do cérebro, manifestava o maravilhamento pelos mistérios da “*criação*” e convocava estudos para combater doenças neurodegenerativas como Alzheimer e Parkinson, doenças mentais como esquizofrenia e depressão, dependência química, condições como o autismo, acidentes cerebrovasculares e traumas medulares.¹⁷ Os exemplos materiais ocuparam quase a totalidade no texto, o que o torna representativo do imaginário que se estabilizava, centrado na precisão tecnológica e uma cartografia do cérebro e sua relação com o corpo.¹⁸ Desde então, o cérebro está no centro das atenções, dividindo o espaço nas manchetes com o campo da genômica, frequentemente como o fim de outras intervenções e sugestões de cuidado. O “[...] *self* passa a ser identificado não com uma alma imaterial, mas sim um conjunto de capacidades representacionais no cérebro físico” (CHURCHLAND, 2003, p.31 apud. ROSE; ABI-RACHED, 2013, p.216), alicerçadas em entes materiais (neurônios, redes) que, enquanto objetos do conhecimento científico, coproduzem uma noção parcial do humano. Arriscando uma aproximação como Annemarie Mol (2002), podemos dizer que as neurociências performam um humano-cerebral, uma versão de *self* que secundariza as práticas distribuídas, que está nos artefatos, moral e política.

Annemarie Mol em “*The Body Multiple*” (2002) chegou a conclusões parecidas, contudo a antropóloga, por vir de uma tradição crítica da ‘grande filosofia’, a dos conceitos universais e da epistemologia, tem um argumento de orientação radicalmente prática. A autora diz que as ciências e a medicina performam os entes materiais pela manipulação, mensuração e interpretação, fazendo contar como real as práticas sociomateriais, múltiplas, e os modos de ordenamento em que estão inscritas. Assim, a aterosclerose (inflamação que leva o acúmulo de gordura nas artérias), objeto da autora, é performada de um jeito na clínica, de outro no laboratório, um terceiro na radiologia e na mesa de cirurgia. São as práticas que definem a multiplicidade e, em certa medida, são incomensuráveis entre si. Porém, a multiplicidade não

¹⁷ O uso da palavra “criação” pode ser lido como uma forma de tentar conciliar materialismo na prática com visões transcendentais da vida, de resistir à racionalização completa da consciência, uma combinação de entusiasmo e com ceticismo – de que deve haver algo mais do que cerebral. Nesse aspecto, nota-se uma das assinaturas da modernidade no campo das neurociências: desconfiança e acusações de reducionismo acompanhado de crença de que as afirmações científicas baseadas nas neurociências são mais verdadeiras.

¹⁸ Proclamação 6158 – Década do Cérebro, 1990-1999. Disponível em: <https://www.presidency.ucsb.edu/documents/proclamation-6158-decade-the-brain-1990-1999>. Acesso em 17 de nov. 2025.

implica uma fragmentação incondicional, já que há um trabalho de coordenação entre as diferentes versões de um mesmo ente pela tradução, calibração e distribuição.

No tocante às neurociências podemos observar a tradução entre doenças mentais e desequilíbrios neuronais, a mensuração nos testes psicológicos, nas imagens e inscrições e a distribuição nas diferentes especialidades que fazem referência ao cérebro, das neurociências até o marketing. A questão para Mol (Ibid.) não é superar a parcialidade, mas como coordenar diferentes versões, sem forçar uma redução numa unidade, e avaliar a adequação (goodness) de cada uma delas. O pesquisador Mark Dennis Robinson corrobora com essa linha de argumentação em seu estudo sobre a “virada translacional” das neurociências intitulado “*The Market in Mind*” (2019), propondo o conceito de “ontologias da parcialidade” para explicar a mobilidade material e semântica das neurociências. Ao agirem a partir de um mundo “pixelado”, as neurociências/neurotecnologias ajudam a produzir “sujeitos parciais”, identidades feitas de partes biológicas e cibernéticas.

A identificação de capacidades no cérebro é uma performance coproducionista. O processo de tornar o cérebro num objeto de investigação é inseparável da padronização tecnológica, dos protocolos de neuroimagem, da formação de parcerias entre cientistas que viabilizam comparações de diferentes sujeitos e hipóteses sobre o que conta como normal e patológico. Desde o primeiro atlas cerebral, criado pelos neurocirurgiões Jean Talairach e Gabor Szikla em 1967, que leva o nome *coordenadas de Talairach* (Imagem 1), até os projetos de *Big Science* mais atuais, como o consórcio *Human Connectome Project* de 2009-2019 (Imagem 2) – que foi uma colaboração entre universidades estadunidenses e europeias – as escalas são utilizadas para localizar funções mentais no cérebro e coproduzir os processos de identificação. O tecido social e biográfico é reconstruído no cérebro vivido, complexo e hiper detalhado por instrumentos.

Com o avanço tecnológico, as escalas foram refinadas e passaram da anatomia para as populações de neurônios, das ondas cerebrais para os padrões de ativação correlacionados com experiências subjetivas, coproduzindo novas identidades: o “cérebro da pessoa autista”; o “cérebro TDAH”; o “cérebro depressivo”; o “cérebro criativo” (VIDAL, ORTEGA, 2019).

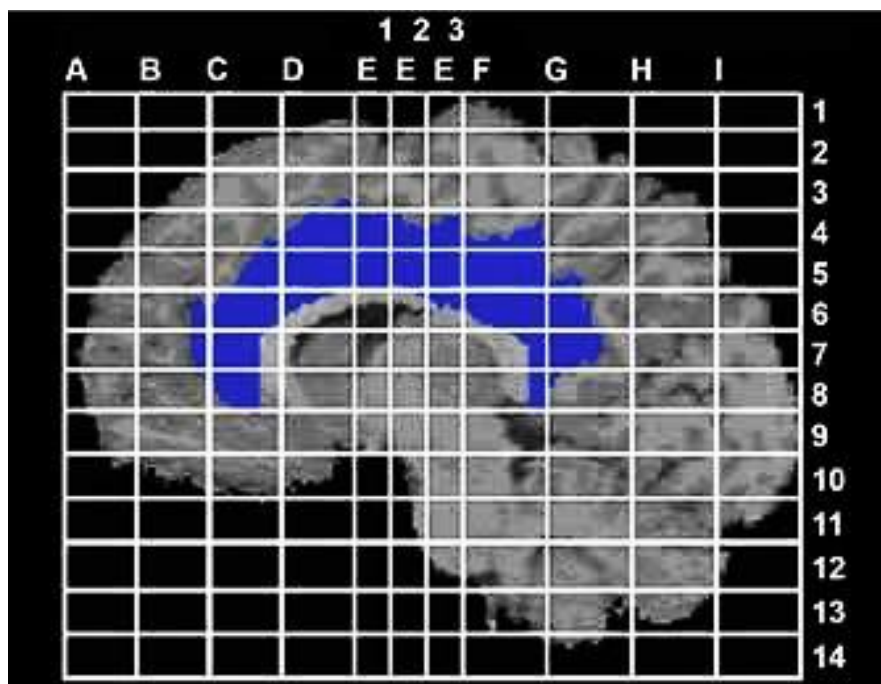


Imagem 1: “Vista sagital da região do cíngulo do cérebro humano, com uma grade de Talairach sobreposta.”
(Tradução livre)

Fonte: TALAIRACH COORDINATES. In: Wikipedia, 2025.

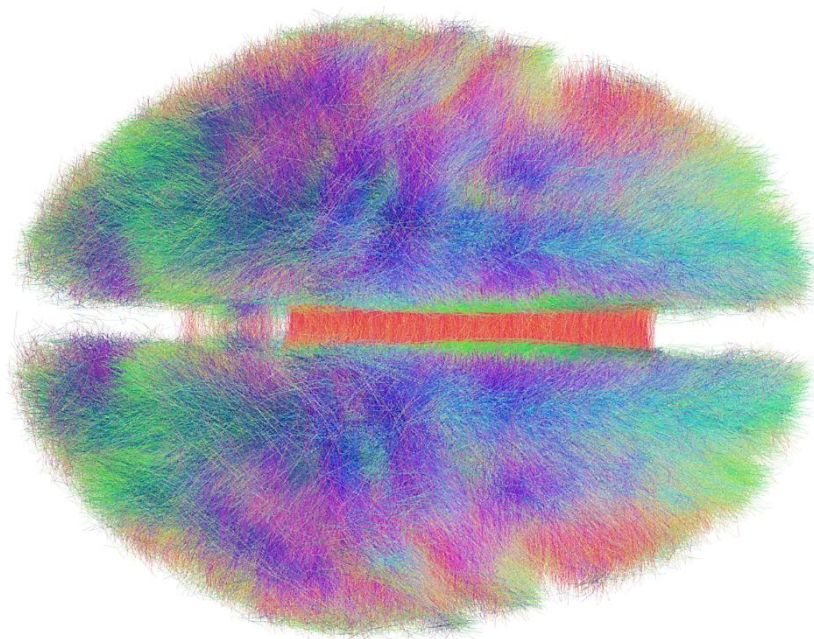


Imagem 2: “Renderização de um conectoma de grupo com base em 20 sujeitos. As fibras anatômicas que constituem a arquitetura da substância branca do cérebro humano são visualizadas com codificação de cores.”
(Tradução livre)

Fonte: CONNECTOME. In: Wikipedia, 2025.

O sujeito ao participar dos experimentos que envolvem registro e simulação do cérebro vivo aprendem, participando do arranjo sociotécnico que os viabilizam, a coproduzir seus pensamentos como eventos cerebrais localizáveis, no caso das Interfaces Cérebro-Computador para modulá-los, contexto da reabilitações e assistência de pacientes com graves limitações motoras. Os arranjos institucionais exigem a sensibilização das agências de fomento, a priorização de linhas de pesquisa e um discurso público que enderece o cérebro e seus estudos como necessários. Nas universidades também, um processo de adequação dos currículos, integração entre pesquisadores e docentes e formação de um projeto disciplinar em neurociências e neuroengenharias.¹⁹ No mercado a formação de *startups* e interesse da indústria farmacêutica por moléculas e dispositivos que modulem o cérebro. Na indústria de instrumentos médicos, no desenvolvimento e manufatura de equipamentos e dispositivos. Trata-se de um reconfiguração ampla.

O cérebro não é mais (ou só) uma criação intocada, protegida pelo mistério, tornou-se um biocapital que se estabiliza na coprodução de um arranjo de entes biológico em contato contínuo – neurônios, nervos, estruturas, tecidos, sistemas – e instituições – agências, universidades, empresas (MELONE, 2019). Na prática cotidiana isso se manifesta, por exemplo, no mercado de “*fitness cerebral*”, como o uso de aplicativos, suplementos, exercícios físicos e meditação, de modo a tirar máximo proveito da plasticidade cerebral, prevenir o declínio cognitivo e tornar os sujeitos mais produtivos, principalmente alunos e trabalhadores dos estratos mais afluentes e ricos, a classe média educada e profissional. Com isso, ao se tornar um biocapital, o cérebro se liga com expectativas de ascensão social e até mesmo “*medo da queda*”, com impactos substantivos na educação das crianças (EHRENREICH, 1994).

A estabilização em torno do produtivismo não é completa. Há contestações, vinda de críticos que apontam para o potencial de aumento da desigualdade, do caráter especulativo desse mercado, de uma definição muito estreita de educação e trabalho, das ameaças a privacidade e segurança. Alertas que são fortes o suficiente para provocar respostas institucionais, como a especialização do campo da ética em temas “neurais”, de modo que o produtivismo é balizado por considerações sobre os riscos, de forma que a estabilização desse

¹⁹ A pesquisa indica para a seguinte hipótese: no Brasil o grau de institucionalização das neurociências e neuroengenharias, como um campo especializado e mais ou menos autônomo, é incipiente. No tocante às Interfaces, observa-se uma estrutura concentrada nas engenharias tradicionais (eletrônica e computação) e ramificações (biomédica), o campo da neuroengenharia é mais novo e está inscrito dentro da biomedicina. Isso vale para o campo de pesquisa mais básico, não se trata de neurociências estrito senso, mas de medicina e psicologia, na maioria das vezes.

imaginário depende que sejam endereçados, pelo menos na retórica. Paradoxalmente, quanto maior é a promessa de otimização, de uso produtivo, mas evidentes se tornam os limites dela.

O imaginário de um corpo humano hiper-realista e territorializado é coproduzido pela prática localista da tecnociência, as causas residem nos objetos físicos, munida de uma coleção crescente de “descobertas” e que inspira a formação de uma literatura especializada, integrativa, empírica e experimental. A relação de interdependência do cérebro com o corpo, seu meio, genética, grupo social etc. cria problemas para os quais as explicações científicas relativas ao como das coisas, a própria existência delas, passam a exigir uma capacidade de identificar relações multifatoriais e transitar entre elas, sem ruídos. A interdependência inclui abordagens de campos anexos, de certa maneira habilitadores, como as das ciências computacionais, essencialmente informacionais, movidas por dados digitais, estratégias de classificação e processamento, *machine learning*/ inteligência artificial. As neurociências dependem de tecnologias que abordem a realidade diferenciada, permeável e elástica da relação cérebro-corpo-ambiente, coproduzindo a partir delas imaginários mobilizadores, que revestem de legitimidade os conhecimentos e intervenções. Se esses imaginários sociotécnicos repercutem mais o valor da competição (entre indivíduos saudáveis) ou da autonomia e inclusão (dos doentes ou que necessitam de cuidado) é uma questão secundária. A estratégia materialista continua sendo a língua franca, a base que dá sustentação para um campo muito diverso e fecundo, no sentido que a referência ao cérebro é um recurso que parece mais próximo da verdade.

Explicar as relações de continuidade entre coisas é uma tarefa difícilima, pois nem sempre as melhores formulações dos objetos e problemas podem ser compatibilizadas perfeitamente sem ruídos. Produzir as provas de que a verdade está no cérebro, em algum lugar ou rede, num dado organismo ou coletivo, como um padrão de ativação tal, é muito complicado. Além disso, as correlações são muitas vezes contestadas internamente, no tocante aos valores cognitivos que caracterizam as ciências, um compromisso que deve ser sempre elevado, como questionamentos sobre o quão rigorosos, abrangentes e sistemáticos são esses trânsitos. O cérebro, por ser um espaço a ser explorado pela tecnociência, está aberto para a construção de um mundo de evidências e refutações. A sua inegável complexidade é a garantia de amplas possibilidades, pois a criação ou órgão, tanto faz, resiste às explicações mais elaboradas e por isso estimula o ceticismo e a crítica. O cérebro, como objeto, exige práticas ostensivas de registro e documentação, protocolos e intervenções padronizadas e desenvolvidas coletivamente e um arcabouço ético que o viabilize socialmente, afinal, estamos falando, no

limite, de pessoas e na maioria das vezes de outros seres vivos, de animais que participam como cobaias.

Até aqui argumentamos que o cérebro é um espaço privilegiado para a coprodução, inscrita num nexos inquebrável entre as estratégias materialistas e os valores (autonomia e competição, principalmente). A tecnociência ao identificar o que há de normal e funcional no corpo, oferece uma narrativa convincente sobre a existência, problematizando argumentos pautados num ideal abstrato de continuidade psicológica ou espiritual. A perspectiva de quem narra, o *self*, está para as neurociências num âmbito de emergência, relativo aos processos cognitivos fundamentais, materialmente localizáveis no cérebro, sendo o uso coloquial da unidade, a de um eu, criticado como cientificamente equivocado. Isso implica que as neurociências estão em mútua influência com um amplo escopo de objetos, que são externos aos seus métodos e instrumentos, como tradições religiosas e cosmológicas. Tal escopo dificilmente pode ser reduzido a ética somática ou incorporado sem atritos. As neurociências estão sujeitas a uma espécie de corrida que parte tanto de “dentro” – no sentido de uma defesa da validade abrangente e até mesmo integrativa entre diferentes disciplinas, justificando com isso a expansão do campo para outras ciências, na formação de neurodisciplinas – quanto de “fora” – a mobilização de argumentos e teorias sobre o cérebro para informar outras esferas da vida, como um recurso retórico privilegiado.

Frente à esse contexto de emergência, Rose e Abi-Rached (2013) chamam a atenção para a importância da sociologia como um contrapeso epistêmico ao expansionismo do argumento neural e a subordinação de outras disciplinas, quando o “neuro” supõe o isolamento do cérebro e suas manifestações em correlatos, ou desliza para a tendência de inferir explicações da plasticidade, padrões de ativação, circuitos e funções (fenômenos materiais e reais) para manifestações complexas como aprendizagem, liberdade, moralidade e responsabilidade.

[...] lembrar constantemente aos neurocientistas que nem o cérebro animal nem o humano existem em isolamento individualizado. [...] Que quando se trata de humanos e talvez de outros primatas, as capacidades cognitivas, os fluxos afetivos e os poderes da volição e da vontade não são individualizados, mas distribuídos. Que eles são possibilitados por uma matriz supraindividual, material, simbólica e cultural – uma matriz que as próprias capacidades do cérebro humano tornaram possível e que molda o cérebro humano em desenvolvimento (e o corpo dentro do qual está situado) a partir desde o momento da concepção até o momento da morte. Quaisquer que sejam as virtudes do reducionismo como estratégia de pesquisa, então, um relato da operação do cérebro vivo em um animal vivo que não reconhece essas transações, que não percebe que os limites do crânio e da pele não são os limites dos processos que moldam o mundo interior no cérebro, que não reconhece que as capacidades e competências humanas emergem, e só são possíveis dentro, desse amplo meio feito e refeito por criaturas vivas, moldado

pela história, marcado pela cultura de maneiras que vão desde a concepção do espaço e dos objetos materiais até a gestão da ação e interação e organização do próprio tempo, serão cientificamente falho. (Ibid. p.232. Tradução livre)

A expansão das neurodisciplinas exige uma filosofia cerebral (o cérebro explica a mente) que pressupõe o dualismo como atitude metodológica e não como doutrina teórica. Se o cérebro e a mente fossem a mesma coisa não haveria surpresa ao encontrar os correlatos. Sem a atitude dualista a curiosidade materialista perde o seu ímpeto; sem a separação tácita não haveria o que “reduzir” ao cerebral, nem mente para “simular”. A contradição é motor da coprodução, resulta numa ontologia monista (mente igual a cérebro), na qual a tecnologia que supostamente supera o dualismo evoca perspectivas instrumentais nos usuários (a mente usa o cérebro que usa a tecnologia). No caso das Interfaces Cérebro-Computador o dualismo é experimentalmente encenado, coproduzido, da seguinte maneira:

Elemento	Função no experimento	Atitude dualista
Corpo em repouso	Isolar o mental	Mente sobreposta ao corpo
Imobilização	Eliminar o ruído motor	Intenção antecede o movimento
Intenção	Objeto que viabiliza a tarefa	Algo subjacente ao sinal cerebral
Artefatos	Obstáculo a ser superado	O que não é intenção pura é ruído

Quadro 2: Atitude dualista encenada pelos protocolos experimentais em Interfaces Cérebro-Computador.
Fonte: Elaboração própria com base em Şahinol (2019).

Sem dúvidas as neurociências têm angariado aliados bem-posicionados, redundando em conquistas institucionais, além de um público curioso e avido pelo consumo simbólico e material do conhecimento resultante. Os arranjos possuem diferentes dimensões e as implicações são diversas, bem como a influência delas na vida das pessoas também não segue uma única regra. Com isso queremos dizer que se trata de espaços heterogêneos, com formas distintas de agenciar e produzir realidades, de organizar um dado conjunto de conhecimentos, tecnologias e demais experiências para coproduzir a ordem social. A aceitação e o uso também não formam um destino inescapável. As diferenças são importantíssimas e uma das características da modernidade é o pêndulo entre visões utópicas e catastróficas. Expansão do controle por vias sistemáticas com potencial crescente de desestabilização e *disrupção*.

2.3. Considerações finais

Argumentamos neste capítulo que as perspectivas de valor que sustentam a legitimidade das neurociências são marcadas por uma cisão constituinte em torno do valor do controle. No centro, a significância está atrelada à utilidade para o capitalismo e o militarismo, provocando

a fecundidade ao mesmo tempo que a estreita: a viabilização vindoura exige concentração, que a tradução para o mercado reduza as oportunidades de concorrência. Na periferia, a significância é invertida ou aspiracional, indica a inevitabilidade da exclusão, a falta de competência de mercado, de "chegar primeiro", apesar dos esforços de traduzir ciência em inovação. A interrupção da dialética entre valores sociais e cognitivos não é anomalia; é a norma estrutural.

Retornando à questão que orientou este capítulo, de quais são as perspectivas de valor que sustentam a legitimidade das neurociências e das neurotecnologias, a resposta é que a legitimidade constitui um fator variável, condicionado pela posição na configuração centro-periferia. No centro, as neurotecnologias encontram significância porque admitem potencial mercadológico, competitivo e aprimorador, que ultrapassa os limites terapêuticos, manifestando um imaginário que implica, nem sempre de forma explícita, maior desigualdade cognitiva. A perda da "janela de oportunidade" pelas periferias reitera a dinâmica de dependência, mesmo quando há democratização do conhecimento e formação de comunidade científica local – frequentemente percebida como "apenas acadêmica". Na periferia, o controle aspiracional não encontra nas condições de contorno os elementos propulsores, o que exige dos cientistas um enquadramento local da visão somática que o cerebralismo subscreve, não como otimização individual, mas como acesso coletivo e inclusão. O valor do controle é reiteradamente evocado pelas instituições, mas na maioria das vezes não se materializa em projetos de inovação. Não há mercado especulativo nas periferias sobre interfaces para aprimoramento ou uso comercial de massa que justifique ou legitime o *hype*. O horizonte de um mercado global permanece, na maioria das vezes, inconcebível. O foco é local, a tecnologia como extensão da saúde pública, articulada ao Sistema Único de Saúde. Se a disrupção opera no centro como estratégia de acumulação que capitaliza a indeterminação ontológica das tecnologias emergentes, justificando pela lógica do poder futuro as dinâmicas destrutivas como a erosão da solidariedade, o contexto periférico de falta exige a construção de alternativas valorativas para o desenvolvimento. O próximo capítulo examinará essas dinâmicas destrutivas, mostrando como o imaginário disruptivo articula promessas de ruptura tecnológica com concentração de poder e crise social.

3. Dinâmicas destrutivas – inovação disruptiva

O conceito de inovação, como introdução de novos produtos e serviços com a intenção de revolucionar o mercado, emergiu nos anos 1980 como recurso retórico e político de primeira ordem no debate sobre o futuro, um no qual a intensidade tecnológica tornar-se-ia ainda mais estratégica, um fator necessário para a sobrevivência ou fortalecimento das instituições. Ação que esse conceito se refere é antiga, o da invenção, o avanço técnico capaz de transformar sociedades e a própria história, materializado na indústria e nas dinâmicas de urbanização e consumo relacionadas. Atualmente, com o capitalismo informacional protagonizado pelas *startups* e conglomerados, também se fala de *disrupção* como movimento violento necessário, protagonizado pela inovação radical, que faria romper uma outra ordem sociotécnica.²⁰

Esse capítulo demonstra que o conceito de inovação, manifestado e fetichizado como ação do e pelo mercado, implica a subordinação de valores sociais alternativos como equidade e participação social (democracia) ao controle sobre a natureza e o comportamento humano. A fecundidade do conhecimento científico que se prova disruptivo se liga, frequentemente, a uma significância social excludente, que no caso das tecnologias médicas corrompe a lógica do cuidada ao exigir dos sujeitos e coletividades um sacrifício desproporcional – seja na tolerâncias das incertezas e riscos ou no apelo a solidariedade para acessar tecnologias e serviços caríssimos. A significância da disrupção capitaliza sua influência onde falta solidariedade, sua urgência é proporcional ao desamparo frente à ruptura social.

3.1. Destruição Criativa

Enquanto problemática acadêmica, a inovação popularizou-se com Joseph Schumpeter (1883-1950). Em *Capitalismo, Socialismo e Democracia* (2017 [1942]), o autor aprofunda o tema por meio da ideia de “*destruição criativa*”: o empreendedor perturba o capitalismo sem alterar a sua lógica, gera monopólios temporários e modifica modelos de negócio num movimento cíclico, dinâmico e contraditório. Ele também observa que: “[...] o progresso pressupõe a destruição de valores de capital nas camadas com as quais uma mercadoria ou um método novo concorre. [...] têm a possibilidade de combater o próprio progresso e o combatem” (Schumpeter, 2017, p. 137). Em síntese, a destruição criativa é o motor de racionalização do capitalismo, não altera necessariamente as relações de propriedade, contudo mercantilize a

²⁰ Cada revolução industrial foi marcada simbólica e materialmente por inovações (e invenções): a máquina a vapor (~1765), o motor a combustão interna (~1876), o microprocessador (~1971) e os chatbots de IA (~2022). Embora historicamente específicas, todas se articulam ao capitalismo e às suas mutações; a compreensão de seus efeitos complexifica-se a cada ciclo, ganhando novas camadas e perdendo outras.

cultura, planificando a esfera dos valores segundo um viés utilitarista, do cálculo custo-benefício, que ganha força em meio à mutação industrial e tecnológica. Nos termos da teoria dos valores, o polo do controle (social), manifestado pelas forças do mercado, subordina perspectivas outras como solidariedade, sustentabilidade e a fecundidade das inovações aprofunda as desigualdades, gerando uma significância social excludente.²¹

Schumpeter alertou, embora sem desenvolver profundamente, as consequências indesejadas do progresso sob essa lente: individualismo exacerbado, concentração de poder empresarial e enfraquecimento democrático (SCHUMPETER, 2017). Schumpeter (2007, p.93) argumentou que a destruição criativa ao “[solapar] as instituições sociais que protege e legitima [o sistema capitalista]” resultaria num ponto de virada em que o socialismo (ou economia burocratizada) emergiria como “*herdeiro legítimo*”. O sucesso econômico do capitalismo seria a causa de sua queda, pois a competição que anima a inovação implica a erosão da solidariedade e um estreitamento da democracia numa plutocracia, a seleção de líderes políticos com interesses convergentes com as forças monopolistas. Com isso, faltaria mecanismos protetores das instituições que dão sustentabilidade à vida coletiva. Nesse sentido, Schumpeter se revela ambíguo, pois aponta para o sucesso econômico e a crise social, uma análise que parece ressoar com leituras sobre a disputa entre as duas potências de nossa era: Estados Unidos e China. Os apontamentos da decadência estadunidense vão muito no sentido do esgotamento do sonho americano, da polarização social, do desamparo dos trabalhadores, das bolhas especulativas. Os elogios a China vão no sentido da sua capacidade de planejamento, coesão social, regulação dos mercados.

A literatura contemporânea acrescentou o qualificativo de intensidade ou impacto à avaliação da inovação. Determinadas tecnologias, ao serem introduzidas, desencadeiam transformações sociais profundas numa curta janela de tempo. Elas criariam formas inéditas de sociabilidade ou reconfigurariam profundamente as existentes, com um alcance transversal. A lição schumpeteriana tornou-se lugar-comum. A difusão das inovações (cada vez mais a alta tecnologia) provoca a disrupção e, em seu rastro, rupturas na ordem vigente. Trata-se de um momento revolucionário, embora frequentemente conservador ou até autoritário. O “fator

²¹ Schumpeter é fundador de uma linha de pensamento na economia, chamada de neoschumpeteriana, caracterizada por um estilo de pensamento evolucionista, pelas críticas aos economistas liberais ortodoxos, e pelo reconhecimento do Estado como um instrumento para a formação e prosperidade dos mercados. Defende que investimentos públicos em educação e ciência favorecem a atividade privada e combinados com a coordenação pública de alto nível (estratégias de parceria) criariam as condições necessárias para empreendimentos inovadores e desenvolvimento econômico e social.

impacto” é um qualitativo de relevância e indica o quão importante é uma dada iniciativa para o “progresso”, o telos de conveniência crescente e fruto da engenhosidade humana, que se conservou ainda que fraturado pelos riscos existenciais, além da profundidade das transformações que a tecnociência provoca. Nesse sentido, revela um componente central no imaginário sociotécnico hegemônico, um ponto da dinâmica entre valores sociais e cognitivos. É praticamente impossível, exigindo um esforço hercúleo de filosofia, separar a ciência da inovação. A missão das instituições educacionais e da academia foi reconfigurada a luz das necessidades do capitalismo por infraestruturas e trabalhadores ajustados à mentalidade empreendedora e entusiastas das novas tecnologias, as vezes mais aspiracionais do que reais, principalmente nas periferias. A inovação é frequentemente percebida como um fator de atualização que coloca a ciência em ação com o “livre mercado”. Ambas compartilham do caminho, os apologistas diriam destino, em direção a difusão e legitimação pelo consumo de massas.

A difusão mais recente do conceito de inovação está associada à globalização neoliberal dos anos 1980-1990, liderada por organizações multilaterais do “Ocidente rico”.²² Os manuais técnicos da OCDE passaram a normatizar o acompanhamento da atividade inovativa por indicadores, orientando burocracias públicas e privadas sobre quais boas práticas tinham de ser implementadas para tirar proveito das “*janelas de oportunidade*” ou das “*ondas tecnológicas*”.²³ Os indicadores visibilizariam a prosperidade (ou a falta dela) decorrente da alta tecnologia e o êxito de países e instituições na conquista de novos e lucrativos mercados. A inovação converteu-se em motor do desenvolvimento e diferencial competitivo, como um elogio ao capitalismo, que ganhou novo fôlego com a emergência das Tecnologias da Comunicação e Informação (TICs) na segunda metade do século passado.

²² Como “Ocidente Rico” nos referimos aos países capitalistas que protagonizaram as primeiras revoluções industriais, especialmente Inglaterra, Estados Unidos, Alemanha e de outras nações da Europa Ocidental, bem como da Ásia e Oceania, a exemplo do Japão e Austrália, que compartilham de um alinhamento político e militar desde o pós-guerra (1945) na defesa do liberalismo e num aspecto formal, quando não retórico, das democracias representativas – em oposição ao socialismo.

²³ Entre os manuais, destaque para os da OCDE, particularmente a primeira edição do Manual de Oslo (1990) e o Manual de Canberra (1995). Thales de Andrade (2005) identificou os primórdios da incorporação da ideia de inovação pela política industrial nos anos 80 entre os países da OCDE. Ela visava, através da figura do empreendedor, promover uma maior interação entre indústria e pesquisa e desenvolvimento, uma agenda muito influenciada pelos teóricos da tripla hélice, preocupados com a formação de clusters de alto desempenho. Essa ideia só ganhou força no Brasil no final dos anos 90 e teve o problema de ser mecanicista, de não ter levado em conta os processos locais de emergência e indeterminação. Ainda nos anos 90, a análise de redes e suas estruturas flexíveis e globais ganhou ímpeto. Nessa ótica, são as ações recíprocas que gerariam as capacidades sistêmicas. Nas Ciências Sociais, muito influenciadas pelo trabalho de Bruno Latour, a atenção se voltou para as dinâmicas de tradução, deslocamento de interesses e conciliação de contrários. Para Latour, o inovador é um ator com capacidade de traduzir suas disposições para outros e, ao mesmo tempo, convencê-los da precisão de uma aliança.

3.2. A Era da Digitalização

A introdução dos computadores e da internet comercial (anos 1980-1990) implicou um processo acelerado de ruptura das estruturas sociais analógicas. O legado do processo é complexo, mas seu significado geral merece registro. Sherry Turkle, socióloga dos Estudos CTS, em *The Second Self: Computers and Human Spirit* (2005 [1984]), foi pioneira na análise do período de difusão das primeiras tecnologias informacionais. Segundo ela, no início, usuários e desenvolvedores mobilizavam metáforas mecanicistas para descrever a experiência com os computadores, se sentiam empoderados por compreender o funcionamento da tecnologia e criavam possibilidades de subjetivação com as máquinas, numa demonstração de autonomia. Contudo, rapidamente as possibilidades se estreitaram. Com os sistemas operacionais interativos, já no fim dos anos 1980, emergiu “*um mundo de interfaces transitórias*”, os computadores tornaram-se caixas-pretas, passaram a dispensar o entendimento do código subjacente. Essas interfaces se guiavam por princípios como facilidade e agradabilidade estética, necessários para uma interação dinâmica e com poucas intercorrências – como erros ou problemas de compatibilidade. Esse movimento esteve acompanhado da concentração de poder em empresas de software, caso paradigmático da Microsoft com o Windows para os computadores pessoais (PCs), que conformou a evolução tecnológica num processo quase monocrático.²⁴ Enquanto isso, os computadores se tornavam “*parceiros íntimos*”, uma “*segunda natureza*” para os usuários, a interação cada vez mais opaca e as máquinas aparentemente autônomas, capazes de dizer algo significativo sobre a realidade material e humana. Os algoritmos ajustados à incerteza e aos dados, o campo do aprendizado profundo de máquina, viabilizaram um nível maior de antropomorfização dos computadores, culminando, décadas depois, nos *chatbots* conhecidos como “*inteligências artificiais*”, muito poderosos na demonstração de competências em linguagens, matemática, programação e visão computacional.

Essas interfaces já são algo mais do que automações. De um ponto de vista fenomenológico, extraem mais dos usuários do que tecnologias anteriores, os engaja em diferentes graus e contextos com facilidade e um modo de operação que parece ser tão elaborado quanto intuitivo, o que incita o usuário humano a performar um tratamento distinto com a máquina. Isso inclui

²⁴ Há uma comunidade de usuários de Linux para PCs, mas ela é minoritária (com cerca de 4%), frente à dominância do Windows (entre 70% e 75%). A situação se inverte para servidores, metade das máquinas rodam sistemas Linux, em alguns nichos, como servidores web chegam a 70%, isso se deve ao fato de serem gratuitos, eficientes e flexíveis.

uma abertura maior para compartilhar e elaborar aspectos íntimos, falar sobre o que se pensa, como se um chatbot pudessem ser algo mais do que um modelo de linguagem e sim um parceiro. Contudo, as aparências são suficientes para a coprodução de efeitos na psique e sociabilidade humana, importando menos se tais interfaces são ou não capazes de, tecnicamente falando, pensar. A performance, similar a demonstração de competência num teste cognitivo, tem se mostrado tão efetiva quanto a de uma interface pensante que suporia um “ente” ou uma “inteligência real” – algo que não foi demonstrado e é objeto de contestação e ceticismo se é possível.

Tecnicamente falando, os chatbots são modelos estatísticos para, a depender do contexto, apresentar as respostas plausíveis, que podem ou não ser verdadeira. Eles tentam prever o que o usuário perceberia como um comportamento significativo com base nos dados fornecidos e quando não o fazem estão ‘alucinando’. A coletânea de ensaios “*What to Think about Machines that Think*” (BROCKMAN, 2015), apesar de anterior ao *boom* dos chatbots, apresenta diferentes posições e matizes sobre o estatuto das IAs enquanto “máquinas pensantes”. Simplificando, os autores céticos argumentam que tratar-se-ia de um feito impossível, dada a rigidez do hardware – os circuitos eletrônicos são estáticos, a biologia não, ela se adapta – e a ausência de um instinto de sobrevivência e de uma fenomenologia do corpo (fome e medo) nas máquinas; as IAs seriam no máximo extensores e o entendimento acontece com e por humanos, agora apoiados pelo aprendizado de máquina num reflexo convincente: processa dados, mas a inteligência não está lá. Os autores que argumentam pela inteligência das máquinas colocam o significado do “pensar” em suspensão, particularmente a necessidade de um substrato natural ou a diferença entre natural e artificial – uma visão maquinica do cérebro e do pensamento como função ou competência; os mais ousados especulam sobre a emergência de pressões ambientais seletivas, análogas a evolução, que levariam as máquinas para a próxima etapa, a da replicação autônoma. Também há um grupo ‘especulativo’, que destaca a falta de clareza conceitual, ou sua transformação histórica, sobre o que é maquinico e o que é pensamento genuíno, na verdade haveria um intercâmbio pragmático entre humano e IA acompanhado de uma compreensão incompleta sobre o que as máquinas fazem, o que desestabiliza o binarismo, coproduzindo uma nova ecologia cognitiva: o que as IAs possibilitaram os humanos pensar? Então, tratar-se-ia de um “efeito placebo” no campo informacional?

Apesar de não serem “inteligentes” o usuário reconhece no comportamento esperado um indício, a possibilidade excepcional da máquina tornar-se um ente, que poderia ou não estar ali. O usuário espera a experiência híbrida em que ele mesmo já não sabe delimitar, de maneira

resoluta, onde começa o humano e termina a máquina e vice-versa. A expectativa é pelo caso limite, aquele que desafia a percepção de que se trata de uma simulação, que coproduz a sensação de que *‘pode ser algo mais’*. Basta a dúvida e ela é suficiente. Na medida em que se persegue o limite, a demarcação da linha entre humano e máquina torna-se algo quimérico. Nesse aspecto a revolução informacional atual é distinta das anteriores. A tecnologia, exemplificada pelos chatbots, é um ator que soa como humano e o modelo de negócios das empresas desenvolvedoras depende dessa confusão. Já o aparato maquínico da indústria das revoluções passadas não, ele se impôs como uma infraestrutura externa, numa lógica mais de operação do que interação. Agora, o grau de hibridização informacional é radicalmente maior e as práticas passam a pressupor, de forma crescente e acentuada, a partilha da agência com os computadores. É como um jogo de espelhos, os usuários atribuem para o reflexo competências de um agente real, os papéis esperados do chatbot são variados, do cientista ao mítico, do psicólogo ao amigo, embora seja no fundo estatística de alto nível combinada à capacidade computacional bruta e muitos dados.

A incerteza é o motor da disrupção tecnológica. Não foi preciso provar para a comunidade científica a “inteligência” dos chatbots, bastou bom marketing, interfaces transitórias esteticamente agradáveis e permissão para o extrativismo de dados e recursos naturais que viabilizam os negócios usuais do capitalismo. As implicações da incerteza, entendida aqui como indeterminação são inúmeras. O objeto racional e lógico passou a evocar uma psicologia próxima à humana, sugerindo continuidade. Antes, o programador fixava regras fixas e acumulativas, agora o ambiente se ajusta a ordens contraditórias, admitindo aleatoriedade via técnicas de difícil compreensão, inclusive para os especialistas. A interação deixou de ser maquínica para simular a mente. Embora computadores não sejam seres vivos, os processos de subjetivação e socialização mudaram numa curta janela temporal, usuários relatam relacionamentos íntimos, namoros, com seus *chatbots* – tal como no filme “*Her*” (2013).

Gerações pré-digitais diferem radicalmente daquelas que já nascem em ambientes saturados de computadores, internet, redes sociais e chatbots. Tal diferença tem afetado relações intergeracionais e a política, fragilizada pela erosão da confiança democrática e pelo fortalecimento de autoritarismos. Bernard Stiegler, em *The Age of Disruption: Technology and Madness in Computational Capitalism* (2020), leitor da Escola de Frankfurt, argumenta que a disrupção desequilibrou a sintonia entre sistema técnico e sistemas sociais. O resultado da digitalização tem sido o enfraquecimento da transmissão intergeracional de valores, a suspensão de modos prévios de pensamento e o favorecimento do individualismo, o que o autor denomina

“reticulação social”, um conceito vizinho à anomia clássica. Para Stiegler, a ruptura manifesta-se em três níveis: (i) esvaziamento da reflexividade e do debate público; (ii) substituição do pensamento por automatismos; (iii) erosão da atenção, esterilizando o conhecimento.

A anomia designa uma condição social caracterizada pela ausência ou enfraquecimento das normas coletivas que orientam o comportamento dos indivíduos. Esse estado surge em contextos de rápidas transformações sociais, quando os indivíduos perdem as referências normativas que davam sentido à vida em sociedade, resultando em desorientação moral e aumento de patologias sociais, como o suicídio. “O que testemunhamos hoje é a destruição dos sistemas sociais pelo sistema técnico, processo que exploramos sob o signo da disrupção. [...] A razão encontra-se sistematicamente em curto-circuito: a realidade da disrupção é a perda da razão.” (Stiegler, 2020, posição do ebook 1187, tradução livre)

Ao destacar que a perda da razão decorre de automatismos algorítmicos, Stiegler chama atenção, sobretudo, para o que acontece na sociabilidade, inclusive quando a tecnologia parece ausente. As interações face a face, antes mediadas por tradições partilhadas, passam a ser moldadas por expectativas produzidas remotamente pelas plataformas digitais, que por sua vez capturam subjetividades. Assim, mesmo na ausência física de dispositivos, a lógica algorítmica atravessa a conversação cotidiana. A linha já foi cruzada, ela reconfigurou os laços e normalizou comportamentos de curto prazo, as vezes em dezenas de segundos (*scrowlling*), esterilizando o debate público e afastando reflexões mais profundas. Segundo o autor, a carência de um espírito comum impele a sociedade a um “barbarismo” marcado por desorientação histórica, atomização e niilismo. Existem formas de resistência, mas raramente adquirem consistência e alcance suficiente para fazer frente e resistência organizada. Inclusive a crítica antissistema está “capturada” pela lógica reticular. No mundo capitalista as ideias alternativas estão sujeitas, para circularem, aos algoritmos das plataformas fazem parte do ecossistema da Meta Inc e outros conglomerados, elas operam sobre a assinatura da velocidade transformadora, dos automatismos e da crescente opacidade das tecnologias digitais. O drama da atual conjuntura se resume aos estreitamento das possibilidades de enfrentamento das plataformas ao uso subversivo de seus ecossistemas e algoritmos, dado o grau de consolidação das redes sociais em monopólios. Furtar-se da disputa desses espaços, sem dúvidas controlados, poderia ser ainda pior, resultando em maior ostracismo, além da invisibilização completa do contraditório frente à difusão de ideias e posições reacionárias.

Sherry Turkle (2005) aponta para a hibridização da experiência humano-computador na fase informacional do capitalismo e sua rápida captura, movidas pelas forças de mercado, por empresas que viraram rapidamente conglomerados, com um relevante custo social e econômico. Já Bernard Stiegler (2020) relata a emergência de uma sociedade reticular, marcada por uma forte desorientação, umas das “assinaturas da modernidade” (JASANOFF, 2004) e uma “destruição dos sistemas sociais”. Contrapostos, os autores revelam na “destruição criativa”, como na exemplificada pelos *chatbots*, como princípio operador, os ricos e incertezas – não como “limites” ao progresso, mas como forças viabilizadoras de um novo mundo, de estatuto indefinido, híbrido e confuso. No imaginário da disrupção a incerteza e a desorientação são um par inseparável, inclusive parte da estratégia de negócios. A forma como ocorre a competição no capitalismo se mistura com a expectativa de revolução e coproduz relações em que sua existência é pautada e vivida em torno de especulação com efeitos reais e viabilizadores. Ou seja, cria-se as condições para a criação de uma tecnologia contestada, as vezes até nas suas premissas.

Há contestações do tipo ‘máquinas não são capazes de pensar’, do tipo social e ambientalmente, exemplificadas nas críticas ao extrativismo de dados e recursos como minérios e água, a piora do mercado de trabalho, e contra a concentração de poder. Em “*Atlas of AI*” (2021), Kate Crawford explora em profundidade e de modo crítico as contestações de uma perspectiva que problematiza a invisibilidade dos impactos das inteligências artificiais, principalmente o extrativismo ambiental e exploração do trabalho humano nas etapas de treinamento dos modelos. Apesar das incertezas e talvez justamente por elas, a disrupção está em curso, e se o principal motivador é o poder, o domínio de mercado, então as incertezas implicam uma evolução da desorientação para um deslocamento mais definitivo: reconhecer o estatuto especial de uma tecnologia e que o acesso a ela deve ser mediado por uma empresa ou conjunto delas. O imaginário da disrupção na prática implica o estreitamento do acesso as capacidades de desenvolvimento, a consolidação da assimetria num dado de difícil superação pelas periferias.

De um ponto de vista coproducionista, observa-se que a opacidade e espontaneidade das interfaces humano-computador (incluindo chatbots e potencialmente as neurotecnologias) têm sido fundamental para a estabilização das tecnologias digitais e a emergência de uma “segunda natureza”, relatada já nos anos 1980, que se acelerou nos últimos 5 anos e radicalizou a usual polarização entre progresso e ruína, característica da tecnociência. Tal polarização possui efeitos evidentes na dimensão institucional. Frequentemente o progresso serve a dominação

sistêmica (capitalismo, militarismo) e a ruína ao chamado para a resistência de baixo-para-cima contra a desintegração social pela via da pressão política por regulamentações e supervisão ética. Está claro que não será pela via liberal, do consumo ‘consciente’, ‘verde’ ou ‘sustentável’, que fará as empresas moderarem seus apetites por pioneirismo e monopólio. O mercado para a disrupção exige caixas-pretas e usuários que não perguntam sobre os quais foram os meios de consolidação do poder que estreitou as possibilidades em algumas poucas plataformas e que não se lamenta pelas outras possibilidades que foram enterradas meio a essa dinâmica. É essa segunda natureza, estabilizada pela opacidade das interfaces, que as Big Techs irão capitalizar como ativo estratégico

A emergência da Big Tech

A concorrência nos mercados de alta tecnologia, voltados à produção e controle de dados digitais, é intrinsecamente monopolista. Isso ocorre tanto porque inovações podem ser adquiridas, tornando *startups* vulneráveis a assédios de diferentes tipos, quanto porque o objetivo final dessas empresas pequenas é ascender no sistema capitalista, substituindo as grandes e consolidadas. A eventual revolução tecnológica oriunda dessa concorrência raramente transforma a lógica interna do capitalismo e tampouco é fruto de liberdade genuína. Para ser competitiva, uma empresa de alta tecnologia deve disputar mercados globais e garantir acesso a consumidores estrangeiros. O valor atribuído às marcas globais, fortemente ligado à difusão tecnológica alcançada ou esperada, torna-se um indicador de poder que ultrapassa a esfera econômica e se torna-se um ativo político e estratégico.

As universidades atuam cada vez mais na retaguarda, seguindo a iniciativa privada, apesar de continuarem centrais na formação e produção de conhecimento novo. Na chamada “Era de Ouro do Capitalismo” (1945–1970), as universidades foram as protagonistas das políticas científicas e tecnológicas, sustentadas por um discurso que colocava a pesquisa básica como pré-condição para prosperidade econômica e superioridade militar. O modelo linear da inovação difundiu-se internacionalmente, tendo como epítome o relatório “*Ciência: a Fronteira sem Fim*” (Vannevar Bush, 1945). A vitória na Guerra Fria, o bem-estar social e a criação de empregos dependeriam de apoio extensivo às universidades e institutos de pesquisa, responsáveis pela formação de profissionais e pela produção de conhecimento útil ao governo e à indústria.

Décadas depois, nos anos 1980-1990, esse entendimento foi transformado por críticas, inclusive expressas em manuais técnicos da OCDE, que destacavam o protagonismo crescente

dos laboratórios empresariais na inovação e o papel de órgãos públicos no direcionamento estratégico da pesquisa acadêmica. Esse novo paradigma foi sintetizado no modelo da “tríplice hélice”, que passou a orientar as análises: inovação requer aproximação entre universidades, governo e setor privado. A prosperidade econômica e a vantagem militar deixaram de ser atribuídas ao financiamento da pesquisa básica e passaram a exigir a aplicação do conhecimento, a manifestação das demandas mercadológicas e estatais. Nesse arranjo, pouco importava se os empreendedores eram grandes corporações ou *startups* – a inovação era representada como ação do mercado coordenada com os estados, numa latente disputa geopolítica. Na “Era de Ouro”, pelo menos na retórica, o polo da dialética relativo à fecundidade era mais forte, representado como condição para benefícios sociais e vantagens econômicas e estratégicas – por isso linear. Com o tempo, passou a ser a significância o polo orientador, demandante de um conhecimento manifestado como aplicação e oportunidade de negócio.

Shoshana Zuboff, no artigo *Surveillance Capitalism or Democracy?* (2022), analisa as transformações institucionais derivadas da inovação e seus reveses. Para a autora, o controle monopolista dos dados digitais é incompatível com princípios jurídicos das democracias, como privacidade, autonomia e civilidade, que ainda não foram codificados como “direitos epistêmicos” pelos sistemas jurídicos na maioria dos países. A violação desses princípios estaria levando à desinstitucionalização da democracia, em quatro estágios:

- (i) Commodificação do comportamento (economias de escala): dados pessoais são coletados massivamente e transformados em ativos financeiros;
- (ii) Concentração do conhecimento (economias de aprendizagem): algoritmos de aprendizado de máquina organizam os dados para controlar os usuários;
- (iii) Atuação remota (economia de ação): a vigilância torna-se prescritiva, moldando o comportamento de forma inconsciente;
- (iv) Dominação sistêmica (economia de imposição): a Big Tech impõe regras próprias, desafiando a autoridade pública e democrática.

Cada estágio constitui, no idioma da coprodução, mutações das dinâmicas de estabilização da ordem sociotécnica. No primeiro, equipara-se dados, comportamentos e sujeitos às fontes de extração, recursos exploráveis, quase naturais. No segundo, a institucionalização avança pelas tecnologias que viabilizam a captura, os algoritmos que ao classificarem a experiência social podem reconfigurar a sociabilidade. No terceiro, a institucionalização se estabiliza na dinâmica das plataformas, completando a coprodução do domínio pela vigilância prescritiva; não há mais dentro ou fora, os algoritmos são ubíquos e a distinção entre sujeito-instrumento foi dissolvida a tal ponto que o componente humano. Os usuários sabem pouco distinguir o que é pulsão autêntica do que é automatismo. No quarto, a dominação desloca a estrutura estatal, esvaziando

a autoridade para a corporação, nesse ponto a disrupção atinge o seu ápice, pretensamente dando o golpe de morte nas alternativas e resistências. A concentração decorrente da última fase é fundamentalmente assimétrica, o poder de decisão, de elaboração pelas corporações da estratégia e do *roadmap*, permanece no que denominamos “centro”, aqueles *clusters* elitistas, arranjos de universidades reputadas, capital de risco e apetite empreendedor. As periferias, com suas variações, são os *sites* ou *fronteiras* de expansão, de extração de recursos humanos e materiais, que pela assimetria magnificam o centro – onde se usa e não se desenvolve as plataformas, onde se gera mas não se controla os dados.

Para Zuboff (ibid.), a *Big Tech* não se limita ao domínio econômico. Ela penetra os serviços essenciais, como saúde e educação, apropriando-se da infraestrutura e da agenda pública, instrumentaliza e provoca o estreitamento das democracias. A governança da inovação passou a prescindir, em grande parte, da supervisão pública. O interesses corporativos são defendidos com vigor por lobistas, impondo-se sobre o aparato estatal como regras do mercado, as quais para ser bem-sucedido precisam ser seguidas e incentivadas. O discurso dominante sustenta que a commodificação é inevitável e indispensável para a concorrência e a burocracia pública, interessada em elevar a competitividade nacional, aceita o revés como um colateral inevitável. Qualquer intervenção estatal, no sentido de uma resistência efetiva, comprometeria a prosperidade econômica gerada pelas práticas de mercado e inserção dos países no capitalismo. Trata-se de um liberalismo politicamente ingênuo quanto à autorregulação dos mercados.

A inovação disruptiva, nesse modelo, supõe monopólios temporários e lucros excepcionais que tenderiam a se estabilizar com o tempo e a concorrência. Mas a prática tem desmentido essa narrativa. Como já apontava Schumpeter (2017), as grandes empresas combatem o progresso tecnológico quando este ameaça sua estrutura. No contexto da economia digital, esse combate se inicia pela construção das condições para conquista da escala global, o Estágio I que nos fala Zuboff (2022). Estratégias agressivas são usadas para fidelizar usuários e forçá-los ao compartilhamento de dados, sob um consentimento cada vez mais vazio de significado, já que a dominância no limite implica não só a falta de alternativa, mas a incapacidade do usuário retaliar ou burlar a plataforma. A inovação, inclusive a intensiva em hardware, é fundamentalmente um serviço, que quando associado ao poder corporativo, representa a liberdade da empresa de explorar brechas normativas para se posicionar como “líder”. As responsabilidades sociais e ambientais são secundárias, sujeitas a flexibilização para viabilizar o desenvolvimento tecnológico, mesmo que sejam insustentáveis.

Investimentos públicos em inovação, especialmente no “Centro” reforçaram a concentração do poder, frequentemente voltados para aplicações militares e de uso dual considerados estratégicos. Nos Estados Unidos, combinados ao discurso da “Guerra ao Terror” e mais atualmente a disputa tecnológica contra a China, os dados privados passaram a ser tratados como bens passíveis de requisição sob “condições excepcionais”. Empresas como o Google (subsidiária do conglomerado Alphabet Inc.) converteram-se em parceiras nos esquemas de vigilância pela sua capacidade de coletar dados em escala planetária. Em troca, poucas barreiras legais foram impostas à sua exploração comercial. A dominação da governança dos dados marca a transição entre os Estágios II e III. No Estágio IV, as distinções entre esferas sociais se dissolvem, a reticulação social que nos fala Stiegler (2020) e as grandes corporações assumem um poder quase autocráticos sobre indivíduos atomizados. Zuboff (2020) descreve esse processo como gerador de um caos epistêmico, fruto da instrumentalização de um poder que deveria ser submetido a supervisão democrática. As implicações são profundas, a ação política popular é deslegitimada, seja por lobby, superveniência da tecnocracia estatal, algoritmos opacos. A necessária abolição da extração secreta de dados não é sequer considerada pelas autoridades, temerosas de comprometer os lucros das *Big Techs* e, com isso, a prosperidade das economias nacionais. Na etapa da dominação sistêmica, essas empresas penetram na esfera governamental, através do fenômeno conhecido como “*revolving door*”. Os executivos das *Big Techs* passam a ocupar posições-chave no Estado, criando normas e decisões de caráter público ajustadas as necessidades privadas. Com isso, tenta-se eliminar fricções sociais que possam limitar a lucratividade, inclusive aquelas sustentadas por princípios de justiça social e ambiental (necessárias para a continuidade da vida no planeta). Com efeito, o discurso da disrupção converte-se em estratégia de ataque para desafiar a ordem pública, de base democrática e justificar práticas invasivas de vigilância e externalização dos riscos ao Estado. A imprensa, que deveria funcionar como quarto poder, está amplamente cooptada. Em seu lugar, proliferam narrativas ufanistas, que apresentam a disrupção como panaceia para os problemas gerados. “*Eles [os CEOs] não falam muito sobre isso no mundo da tecnologia*”, escreve Zuboff (2022, p. 9, trad. livre):

[...] porque preferem camuflar suas estratégias de governança sob a ilusão de Robin Hood, quando, na verdade, suas exceções preparam o terreno justamente para o oposto: a eventual substituição da governança democrática por uma governança computacional privada. Essa mudança emerge nas expressões de dominação sistêmica do estágio quatro, quando a própria ordem democrática se torna o alvo da disrupção. (Ibid.)

Em síntese, a ascensão da *Big Tech* evidencia que a disrupção não é um simples motor de progresso econômico, é um projeto político de concentração de poder, sustentado pela captura de dados e pela naturalização de monopólios digitais globais. Em outras palavras, revela-se a coprodução da opacidade ou transitoriedade das interfaces com a erosão social, o nexo entre uma e outra é, frequentemente, a indeterminação que permite especular e viabilizar tecnologias radicais e contestadas. Ao deslocar a confiança social das instituições democráticas para o carisma de empreendedores e algoritmos proprietários, tal projeto de ordem social redesenha as fronteiras da autonomia individual e coletiva. É justamente essa visão, forjada no Vale do Silício e celebrada como caminho inevitável para o futuro, a chamada *Ideologia Californiana*.

3.3. A Ideologia Californiana

As narrativas sobre a disrupção são variadas, embora uma se destaque por sua influência, a associada ao Vale do Silício, na Califórnia (EUA), berço e santuário das práticas fundadoras da economia digital, epitome do centro. A história desse lugar, frequentemente imaginado como ápice do desenvolvimento tecnológico, tornou-se parte da cultura *pop*, com uma série televisiva para chamar de sua, “*Silicon Valley*” (HBO, 2014-2019) e análises sérias, algumas delas clássicas. Entre elas, destaca-se o ensaio seminal *The Californian Ideology* (Barbrook e Cameron, 1995), que inaugurou uma linha crítica influente sobre a base ideológica do “Vale”. Os autores localizam as origens dela nos anos 1960, em meio à tensão entre visões opostas – de um lado os hippies, com seu espírito de rebeldia cultural; de outro os yuppies, representantes de um liberalismo empresarial agressivo. A tentativa de síntese entre essas posições deu origem a uma fé híbrida, ou uma “*existência esquizofrênica*”, que mescla o antiestatismo e o entusiasmo tecnológico do liberalismo com a retórica de emancipação pessoal herdada dos movimentos contraculturais, o que ajuda a entender a cegueira civilizacional frente às consequências de um individualismo tão exacerbado. Em outras palavras, uma formação discursiva-material em que visão de futuro (pós-humanidade, tecnologia a serviço de uma humanidade transcendente, superior) e prática (dissolução das tensões ideológicas, formação de uma classe operadora dos monopólios, ciclo de capitalização via *hype*) são coproduzidas. Embora divergentes em temas centrais como guerra, sexualidade, meio ambiente, hippies e yuppies compartilhavam da crença no potencial transformador da eletrônica e na rejeição ao Estado como instância de regulação. A vitória simbólica dos yuppies selou a transformação desse legado. A empresa de tecnologia passou a ser representada como veículo civilizatório, substituindo as lutas por direitos pelo acesso à inovação para o mercado global. Tal visão empresarial do acesso é excludente. A disrupção instrumentaliza o processo de “destruição criativa” para promover rupturas

intencionais, de ordem subjetiva, social e ecológica, com vistas à acumulação de capital. Além disso, as possibilidades de ascensão social prometida por esse modelo meritocrático restringe-se a uma elite educada e letrada nas tecnologias digitais, a chamada “*classe virtual*”.²⁵

Com efeito, a ideologia californiana reconfigurou a dinâmica centro-periferia. O centro passou a se referir à formação de uma aliança entre capitalistas de risco e classe virtual, formando “*clusters avançados*” como o Vale do Silício e a periferia passa a indicar a exclusão dessa formação para a economia digital. A emergência dessa aliança pressupõe uma fusão entre controle e individualismo (entendido como autorrealização e meritocracia) e a transformação do conhecimento em competência e vantagem competitiva. Nos termos dessa dinâmica, a ideologia é a autocompreensão do centro, uma narrativa de merecimento e distinção social. Conhecimentos alternativos são estranhos a essa lógica, pois não geram os retornos, fundamentalmente capital, que os justifiquem. Com isso, a dialética se fecha por um excesso de homogeneidade no polo social, que irradia para as periferias como o modelo a ser seguido através de reformas que favoreçam o capital de risco, o empreendedorismo e a desregulação. Contudo, a replicação serve fundamentalmente para facilitar que os centros acumulem as competências necessárias, a regionalização nas periferias das capacidades de gerar competências, com a formação de “centros-na-periferia”, serve como uma porta de acesso que não desafia a subordinação.²⁶

A retórica liberal que sustenta a *existência esquizofrênica* representa o trabalho como via de autorrealização da classe virtual, subordinando não só valores sociais alternativos, mas também o pensamento crítico e reflexividade. O mérito individual e a inovação seriam os únicos critérios legítimos de distinção nos mais altos círculos do poder, cada vez mais implicados com as grandes empresas de tecnologia. Trata-se de uma ortodoxia híbrida que transforma a competência tecnológica num ente substitutivo das instituições públicas, relativizando as desigualdades em nome da liberdade individual de empreender. Barbrook e Cameron (Ibid.) argumentam que essa ideologia representa a obsessão narcísica do capitalismo, sustentada por

²⁵ Classe virtual refere-se, segundo Barbrook e Cameron (1995), à camada social que reúne acesso à educação tecnológica, capital cultural e posicionamento privilegiado na economia digital. Essa classe é composta por trabalhadores intelectuais integrados à infraestrutura da economia digital. Diferente das classes tradicionais, a classe virtual exerce poder por meio da produção, circulação e controle do conhecimento e da informação. Nessa dinâmica, coproduz conhecimento, regime epistêmico, e posição social. Seu prestígio decorre do domínio técnico, da fluência nas linguagens e competências digitais, sendo uma força no redesenho da sociedade pós-industrial em sociedade informacional.

²⁶ O fato, por exemplo, das universidades estaduais paulistas formarem em conjunto um *cluster* em tecnologia médica no polo São Paulo (capital) e Campinas não tornou o Brasil um país autônomo nesse segmento, apesar do protagonismo científico inegável.

uma classe média que transformou seus privilégios em destino coletivo, um padrão a ser mimetizado e almejado inclusive pela classe trabalhadora excluída.

Se a disrupção implica um desajuste entre sistemas técnicos e sociais (Stiegler), é produto de uma intenção empreendedora voltada à conquista de mercados (Schumpeter) e se, na atualidade, legítima a violação da privacidade e a erosão da soberania estatal (Zuboff), então a narrativa de “florescimento da humanidade” promovida pela ideologia californiana (Barbrook e Camaron) deve ser lida como uma camuflagem dos rastros de destruição social que a sustentam.

Susi Geiger, em “*Silicon Valley, disruption, and the end of uncertainty*” (2019), aprofunda a crítica. Para a autora, a disrupção adquire contornos escatológicos nas narrativas messiânicas do Vale do Silício, por se apresentarem como candidatas a história universal – as vezes literalmente como “colonização do espaço”. Sob a fachada de um futuro promissor, oculta-se um processo de estreitamento da experiência humana e crescente dependência tecnológica. Esse estreitamento projeta a iminência de um colapso, uma destruição necessária segundo os ideólogos liberais, para que uma nova civilização tecnologicamente avançada renasça dos escombros de um mundo morto. O sacrifício dos vivos, habitantes em meio a ruína, é retratado como oferta exigida para se alcançar um futuro pós-humano, redentor para os sobreviventes, a elite que se assegurou frente à crise anunciada. Geiger (2019) identifica aqui um padrão ideológico em que a disrupção é tratada como evento inevitável da evolução histórica, mesmo que seja catastrófico para a maioria.

Crise social e fé tecnológica são entrelaçadas e personificadas em arquétipos como Elon Musk, CEO da *Neuralink* e *xAI*, desenvolvedora do chatbot *Grok* e figura central do imaginário disruptivo.²⁷ Esse arquétipo é caracterizado pela ambição, aversão a regulação, promessas grandiosas e privilégios sociais, membros de uma elite versada em tecnologia e politicamente inserida na direita reacionária, mas também no progressismo liberal. Sujeito de uma autoestima convertida em pulsão de dominação, manifestada como controle tecnocientífico sobre natureza

²⁷ A *xAI*, empresa de Elon Musk, opera em Memphis (Tennessee) o supercomputador “Colossus”, cuja infraestrutura depende de turbinas alimentadas por metano. O empreendimento enfrenta forte resistência da comunidade local de Boxtown de maioria negra, que relata um aumento em casos de asma e câncer associados à emissão de poluentes como óxidos de nitrogênio. Críticos e órgãos de fiscalização apontam que a operação viola o *Clean Air Act* por carecer de controles ambientais adequados, situação que pode ser agravada pela expansão do complexo com um novo datacenter. Paralelamente, o chatbot *Grok*, processado nessa infraestrutura, é criticado por sua postura ética permissiva a abusos dos usuários (como uso de símbolos nazistas), tom insensível e difusão de desinformação. Cf. WOOD, M. 'How come I can't breathe?': Musk's data company draws a backlash in Memphis. *POLITICO*, 6 maio 2025. Disponível em: <https://www.politico.com/news/2025/05/06/elon-musk-xai-memphis-gas-turbines-air-pollution-permits-00317582>. Acesso em: 23 dez. 2025.

e sociedades a nível global. A fortuna acumulada (*net worth*) seria, nessa lógica, prova da importância da ação individual livre para o progresso humano. Aqui emerge o messianismo tecnológico. O empreendedor é visto como o condutor inevitável da disrupção, sua face visível e vetor. O problema da democracia sequer é considerado, ela deixa de importar como método – se é que um dia importou na prática. Ao contrário: assume-se os perigos sociais como preço necessário em nome do futuro. Elon Musk capitaliza sob a indeterminação, *hype* midiático, universidades de e para as “elites” e um discurso público alinhado ao argumento da inevitabilidade tecnológica e dever da espécie em “transcender” os limites. Tais como outros capitalistas é uma figura que personifica e dramatiza o ideal do inovador visionário e excepcional, que inaugura o futuro.

Geiger (2019) menciona, como exemplo, o surgimento de movimentos “imortalistas”, que acreditam na erradicação da mortalidade por meio da ciência. Objetivos radicais como esse, expressão de privilégios extremos, descolam-se das preocupações cotidianas por uma existência digna e estável. Mais uma vez a dúvida é o mecanismo de valorização, mesmo que descabida, basta. A disrupção torna-se instrumento de distinção, o que é considerado “bom” conecta-se à transcendência do mundo ordinário, como a superação da velhice, das limitações humanas e reforça desigualdades.

Bernard Stiegler (2020) observa que valores como empatia, solidariedade e altruísmo são corroídos pelo atomismo promovido pela ideologia californiana. Dialeticamente o controle ao subordinar a solidariedade produz vínculos fundados no retorno do capital e não na estabilidade dos sistemas sociais. Alistair Duff, em *Rating the Revolution: Silicon Valley in normative perspective* (2016), reforça esse diagnóstico. Para Duff, o capitalismo informacional, que denomina de *ICapitalism*, opera por meio de uma estrutura de motivação dual, simultaneamente anárquica e tecnocrática, lúdica e puritana, hedonista e disciplinada. Essa contradição, aqui entendida como indeterminação ontológica, produz estabilidade, não crise. A ruptura vindoura não desorganiza o capitalismo, reforça-o ao destruir a natureza e as relações humanas no processo. Segundo o autor, o culto à informação substitui gradualmente a arte de pensar, criando uma “consciência falsa” que reveste o comportamento mercenário do empreendedor disruptivo com idealismo libertário para a humanidade. Afinal, a *Big Tech* gera os empregos do futuro, premia os melhores talentos e simboliza meritocracia. No entanto, tal estrutura não elimina tensões valorativas. Meios eficientes não são necessariamente sustentáveis; juventude não garante saúde; produtividade elevada não implica prosperidade coletiva. O *ICapitalism* carece de uma “espiritualidade genuína”: ele não reproduz a ética protestante descrita por Max Weber

no capitalismo industrial que emergiu no século XVI, mas sim uma “*tecnopólis apática*”, marcada pela devastação das relações ordinárias e por uma meritocracia imperfeita.²⁸

Gernot Grabher e Jonas König, em *Disruption, Embedded: a Polanyian framing of platform economy* (2020), analisam os valores que moldam a combinação entre controle e poder na economia de plataformas digitais. O controle, cada vez mais algorítmico, reforça desigualdades pré-existentes, como a mercantilização. Inspirados em Karl Polanyi, os autores expandem o conceito de tecnologia para incluir arranjos institucionais e criticam o uso superficial da noção de “*embeddedness*”, que naturaliza estruturas sociais como se fossem imutáveis, levando à complacência. Eles argumentam que há resistência social aos excessos do mercado e que a economia é uma fronteira em contínua disputa. Comparam o atual momento de digitalização com as revoluções industriais do passado, caracterizando a disrupção pelo potencial de ruptura no tecido social e pela forte carga ideológica, representa pelo comportamento empresarial obsessivo, voltado à substituição das estruturas tradicionais de vida.²⁹

3.4. A Definição Instrumental de Disrupção

A noção instrumental de disrupção, que orienta a gestão das empresas, foi formulada no centro, por dois professores da Universidade de Harvard em 1995, no artigo “*Disruptive Technologies: catching the wave*”. Nele, Joseph Bower e Clayton Christensen analisaram o desenvolvimento dos computadores entre as décadas de 1960 e 1990, argumentando que o êxito

²⁸ Max Weber (1864-1920), em “*A ética protestante e o espírito do capitalismo*” (2022), argumentou que o capitalismo industrial exigiu uma transformação de conduta que foi proporcionada, em grande medida, pela ética ascética dos calvinistas e puritanos. Resumidamente, o *ethos* religioso foi formativo de uma disposição racional e prática, mais ajustada à organização do trabalho livre, acumulação de capital, ordem jurídica e administrativa racional e ciência experimental. Essa disposição foi caracterizada pela busca metódica do lucro como fim em si mesmo, não para satisfazer necessidades relativas à reprodução social, mas como indicativo de eleição divina. Com o tempo, o sucesso econômico tornou-se sinal de virtude moral. Historicamente, o período de formação do capitalismo moderno coincidiu com a reforma de Martinho Lutero (1517) e a doutrina da predestinação de João Calvino (1536), que tiveram grande influência em Genebra, Escócia e Países Baixos, também desencadearam as seitas puritanas (batistas, quakers, metodistas) que atingiram seu auge na Inglaterra e Nova Inglaterra (EUA) em 1600. A tese de Weber é a de que o ideal de predestinação passou por uma secularização em 1700 e 1800, com isso o capitalismo foi sustentado pela afinidade com a conduta prática e econômica de raiz protestante. A racionalização na conduta de vida elevou o trabalho profissional, e da riqueza monetária, como um dever em contraposição ao ócio e o consumo supérfluo, configurando uma ascese intramundana que valorizava o planejamento, a técnica, poupança e reinvestimento – elementos essenciais da acumulação capitalista.

²⁹ Karl Polanyi (1886-1964), em “*A Grande Transformação*” (2021), introduziu o conceito de “*embeddedness*” para explicar que a economia está sempre inserida nas relações sociais e políticas, em contraste com a ideia de um mercado autorregulado. Ele criticou a mercantilização generalizada do trabalho e da terra, tratados como “mercadorias fictícias”, argumentando que submeter a vida social à lógica de mercado é insustentável e provoca contramovimentos. Essas ideias polanyianas iluminam análises atuais da economia das plataformas digitais. Grabher e König (2020), por exemplo, enquadram a “economia de plataforma” como nova onda de mercantilização impulsionada por dados massivos e controle algorítmico, mas igualmente sujeita a contestação política e reinserção (re-embedding) via regulamentação, diante do capitalismo digital globalizado e da concentração de poder informacional nas grandes plataformas.

desse setor decorreu da sintonia com as transformações do mercado. Resumidamente, nos anos 1960, os computadores interessavam apenas a grandes corporações e governos; na década de 1980, a base de consumidores passou a ser formada predominantemente por profissionais de pequenas e médias empresas; e, nos anos 1990, verificou-se crescimento acelerado em razão da difusão da internet e do uso doméstico dos PCs. Para Bower e Christensen (1995), a disrupção corresponde a uma trajetória ascendente de mercado:

- *uma empresa nova, com uma base de clientes pouco exigentes em desempenho ou negligenciada por uma empresa consolidada, ganha tração com uma estratégia de preço baixo e conveniência (low-end) e gradualmente migra para segmentos mais exigentes e dispostos a pagar por tecnologia de ponta (high-end), a inversão (disrupção) ocorre quando a empresa nova erode a participação de mercado da empresa incumbente, superando-a.*

A ascensão da Apple e da Microsoft nos anos 1980 ilustraria esse tipo de trajetória. A IBM dominava o mercado com *mainframes*, grandes máquinas de uso corporativo, mas ignorou o potencial dos PCs a médio e longo prazo. Ao priorizar clientes tradicionais, como grandes empresas e governos, não percebeu a viabilidade dos computadores pessoais, inicialmente menos potentes. No início as tecnologias disruptivas são, em geral, inferiores às soluções consolidadas, mas distinguem-se por atributos que podem reconfigurar a concorrência no mercado conforme evoluem. O artigo de 1995 visava conscientizar empresários sobre oportunidades e ameaças inerentes à disrupção decorrente dos serviços digitais. Já que o objetivo era conscientizar, o artigo aprofundou premissas da “destruição criativa” de Schumpeter, oferecendo recomendações gerenciais resolutas:

- (i) Startups devem coletar informações em mercados emergentes e, a partir delas, experimentar tecnologias disruptivas;
- (ii) Empresas estabelecidas devem criar spin-offs relativamente autônomos, explorando oportunidades e mitigando riscos para o negócio principal.

A disrupção pode levar a empresa incumbente à ruína ou, se bem gerida, à substituição de unidades ultrapassadas por outras emergentes. O risco financeiro é intrínseco a concorrência. Introduzir uma tecnologia disruptiva implica reduzir lucros provenientes de tecnologias consolidadas, cujo aperfeiçoamento incremental fideliza grandes clientes, em mercados mais lucrativos no curto prazo. O fracasso em absorver a dinâmica disruptiva conduz à substituição por concorrentes. Os gerentes enfrentariam, portanto, um dilema:

- (i) Manter o status quo, priorizar o *core business* e arriscar a obsolescência no longo prazo;
- (ii) Investir antecipadamente, para alocar recursos em inovação, correndo o risco de retorno insatisfatório ou prejuízo no curto prazo.

Os executivos, gerentes e consultores leram o trabalho de Christensen e buscaram produzir os fenômenos que a teoria descrevia, como um tipo de marketing das estratégias disruptivas. Contudo, duas décadas depois, Christensen alegou má aplicação de sua teoria, que se proliferou para além da definição instrumental. Em “*What Is Disruptive Innovation?*” (2015) afirmou que disrupção não é todo caso de derrota de incumbentes, mas um processo sustentado de migração do estrato *low-end* ao *high-end*, é isso que as empresas devem observar, antecipar e temer. Empresas disruptivas identificam necessidades ignoradas e, a partir delas, constroem diferenciais competitivos. A substituição completa é rara, pois envolve riscos elevados e nem sempre é estratégica para uma pequena empresa, que não possui o capital para atravessar o período de baixa ou nenhuma lucratividade. Em síntese, no campo dos negócios, a disrupção, enquanto um tipo ideal, designa estratégia e trajetória sustentada de ascensão. Aposta-se em mercados negligenciados para, gradualmente, superar concorrentes mais fortes, num contexto de incerteza sobre qualidade e desempenho da nova tecnologia. Dentro desse enquadramento, distinguem-se quatro trajetórias possíveis; as duas primeiras são sustentadas, as duas últimas, não:

- (i) **Trajetória adaptativa:** a incumbente detecta cedo a nova onda tecnológica, cria *spin-offs* ou adquire *startups* promissoras e mantém liderança;
- (ii) **Trajetória disruptiva:** a aspirante conquista nichos *low-end*, migra ao *mainstream*, obtém escala e, posteriormente, atrai clientes *high-end*;
- (iii) **Erro estratégico de inserção:** a aspirante não alcança diferenciação viável, fracassando antes de entrar no mercado ou sendo superada por concorrentes emergentes;
- (iv) **Erro estratégico de adaptação:** a incumbente reconhece tardiamente a ameaça disruptiva, perde participação de mercado e enfrenta queda brusca de preços, fragilizando sua saúde financeira.

O fim prático da teoria de Christensen (1995, 2015) explicita a subordinação dos valores cognitivos ao mercado. Quando o objetivo não é a conquista do “market-share” importará menos o conhecimento associado, para a disrupção o problema é de gestão das oportunidades e não de compreensão dos critérios epistêmicos. Os contextos periféricos são marcados pelo contraste entre restrição e aspiração, atravessados por relações de subordinação nos mercados globais e negatividades sistêmicas mais acentuadas, como custos sociais e ambientais, mais as tentativas de alcançar os “líderes”. Em contraposição, a disrupção nos centros depende dessa restrição, base da vantagem dos arranjos de alta tecnologia como o Vale do Silício, que confere estabilidade estrutural para tantas startups operarem durante anos no vermelho, queimando caixa. A tolerância ao prejuízo é suportada pela expectativa de que as periferias não acompanharam a trajetória e que, conquistado o monopólio, o retorno será arrebatador.

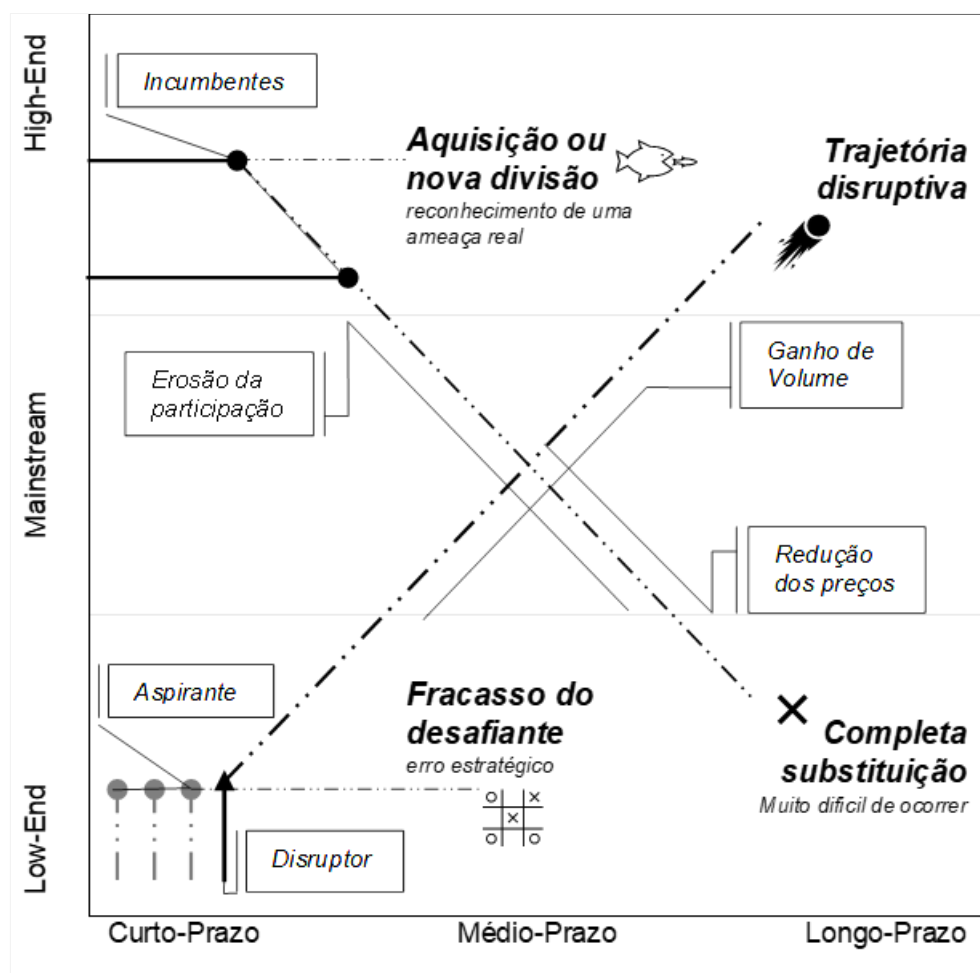


Figura 2: Visão instrumental da disrupção como trajetória sustentada de ascensão no mercado.
Fonte: Elaboração própria.

Não é que o centro possua as condições favoráveis, mais precisamente trata-se da configuração de convergência entre controle, materialismo e capitalismo, onde a assimetria em torno da governança da indeterminação se manifesta como vantagem futura e não barreira que imobiliza. A teoria de Christensen, formulada a partir de casos estadunidenses (IBM, Apple, Microsoft), naturaliza condições que são específicas do centro. Até mesmo a aspiração nas periferias, que em tese representaria uma ameaça, pode servir como uma forma rápida de oxigenar os centros, seja treinando os pesquisadores em agendas globais, seja pela desvalorização das condições nas periferias (falta de capital, mercado, infraestrutura).³⁰

³⁰ O desenvolvimento da IA ilustra a dinâmica centro-periferia aplicada ao próprio capitalismo avançado. Em 2024, o investimento privado em IA nos EUA atingiu 109,1 mil milhões de dólares, cerca de 12 vezes o da Europa inteira (STANFORD HAI, 2025). Globalmente, os EUA absorvem mais de 50% do capital de risco; a Europa, 5% (TNW, 2025). Entre 2008 e 2021, 30% dos unicórnios europeus mudaram sede para os EUA; 90% da infraestrutura de nuvem europeia é fornecida por empresas americanas (EUROPEAN COMMISSION, 2024; THE REGISTER, 2025). A *Mistral AI*, maior esperança europeia, opera via Microsoft Azure, seus modelos "soberanos" rodam em servidores americanos (CLOUD SUMMIT, 2025). Como sintetiza o relatório Draghi, a alternativa à reforma

Em *Creation and Disruption of Innovation? Key Developments in Innovation as Concept, Theory, Research and Practice*” (2017), Michael Lester argumenta que a disrupção é sobretudo um efeito discursivo capaz de reformular o próprio significado de inovação. No centro dessa manifestação estaria o empreendedor apaixonado pelas tecnologias digitais, um herói moderno que converte habilidade retórica, a capacidade de narrar um propósito superior com um estilo de liderança “eficiente”, em poder econômico e político. O inovador, enquanto construto ideológico, superaria o “pensamento de grupo” e, por isso, poderia liderar a sociedade. Além disso, a tecnologia não é *per se* disruptiva, torna-se assim pelo uso que dela se faz e pela substituição das chamadas “tecnologias maduras”.

A significância da disrupção implica narrativas de propósito para atrair investimento e ganhar o controle do mercado, subordinando a avaliação cognitiva (a tecnologia, além de funcionar e resolver o problema, é segura?). O reforço mútuo entre valores sociais e cognitivos não supõe o equilíbrio da composição de forças, o controle é o fim último e axiologicamente precede os valores cognitivos (imparcialidade, empiricidade, objetividade) que formam o método. A fecundidade do conhecimento opera em direção à significância-controle, trata-se de uma característica estrutural da tecnociência desde sua fundação pelo experimentalismo – o projeto “*saber é poder*”.

Quando uma *startup* levanta capital meio a indeterminação ontológica das tecnologias de fronteira, disruptiva, ela leva ao limite o polo da significância para manifestar possibilidades legítimas para o mercado global antes mesmo de serem viáveis localmente. O centro, portanto, é a institucionalização e estabilização dessa direção preferencial para o controle. Nas periferias, em contraposição, o polo cognitivo está solto, não compõe com a significância porque a institucionalização característica do centro exige a concentração interna e a volatilidade externa (ciclos curtos e descontínuos de inovação, dependência de colaborações internacionais, emigração de talentos).

Com a emergência das plataformas, as empresas controladoras das tecnologias disruptivas operam como uma coalizão de interesses investida de legitimidade pública, autorizada a transformar setores inteiros, redefinir mercados e, se necessário, a subordinar esferas sociais

radical é a “morte lenta”, tornar-se colônia digital rica, regulada, irrelevante (EUROPEAN COMMISSION, 2024). O caso socialista chinês contrasta: apesar das sanções, o *DeepSeek* rivaliza com modelos americanos a custo menor (CFR, 2025); a *Huawei* desenvolveu chips com 60-80% da performance *Nvidia* (TOM'S HARDWARE, 2025); a estratégia “AI+” foca na economia física, visando integrar IA em 70% das grandes indústrias até 2027 (MERICS, 2025). A tipologia centro-periferia aplica-se não apenas ao Sul Global, mas às hierarquias internas do capitalismo avançado, a Europa como “periferia-no-centro”, a China como centro alternativo em construção.

adjacentes em pró do “livre” desenvolvimento tecnológico, afetando os meios de comunicação e disputa política. Embora tal movimento seja amplamente estudado, Lester (Ibid.) observa que pouca atenção é dada ao fluxo inverso, à forma como a política molda a tecnologia, criando as condições para sua emergência. Segundo o autor, instituições inovadoras pressupõem interações baseadas em conhecimento científico para criar os mercados do futuro, uma tese consonante com a definição instrumental de Bower e Christensen (1995). As universidades de elite funcionam como “hospedeiras” tanto de pesquisa básica e aplicada, indispensáveis ao empreendedorismo, enquanto a burocracia estatal, das potências capitalistas, garante impacto pela gestão inteligente das colaborações, pela formulação de grandes projetos. Em oposição à tese liberal, evidências históricas sugerem que os Estados desempenham papel estratégico no investimento e na coordenação de esforços público-privados, ligando agendas de inovação e crescimento econômico. A digitalização recente da estrutura industrial dependeu, muitas vezes, de estratégias estatais agressivas, quando não da transferência forçada de tecnologia a práticas ilegais, como o roubo de propriedade intelectual. As funções estatais formam um núcleo necessário para o arranjo sociotécnico disruptivo, sem elas não há estabilização das condições de centralização, tampouco um mercado para tecnologias arriscadas.

- (i) Formação de consórcios de pesquisa – definição do foco de atenção e atores;
- (ii) Estruturação de *clusters*, que concentram e transferem conhecimento – produção de hierarquias entre contextos/territórios inovadores e estagnados;
- (iii) Reformulação de políticas públicas, orientadas a missões e demandas concretas – composição dos canais institucionais legítimos e objetivos prioritários;
- (iv) Criação de indicadores objetivos, alinhados a manuais internacionais, para avaliar a performance dos atores – constituição do que conta como sucesso e fracasso, boas práticas e erros estratégicos, a distinção entre descrição e prescrição se dissolve.

Embora reconheça os esforços, frequentemente utilitaristas, de quantificar resultados atribuídos ao efeito disruptivo, Lester (Ibid.) endossa a contundente crítica de Jill Lepore em *“The Disruptive Machine”* (2014), publicada no *The New Yorker*: “[...] A ‘inovação disruptiva’ recebeu pouca crítica séria. [...] No entanto, não cumpre as condições de prova exigidas de uma ‘teoria da mudança’: baseia-se em estudos de caso escolhidos a dedo, definições arbitrárias de sucesso e lógica circular; só pode ser identificada *post factum*” (Lepore, 2014, p. 313, tradução livre). A crítica de Lepore, sob uma perspectiva centro-periferia, evidencia o viés dos critérios de identificação. Os casos selecionados por Christensen (IBM, Apple e Microsoft) dificilmente pode ser generalizados, porque o mecanismo subjacente a concentração-centralização é a exclusão (o capital de risco flui para o Vale do Silício, não para

outros contextos) e governança da indeterminação (o que é aprendido em São Francisco é inadequação em São Paulo).

Além da literatura científica, proliferam relatórios de consultorias que aconselham o mercado com evidências de credibilidade variável. Num caderno da KPMG, uma das “*Big Four*”, intitulado “*The Disruptors Are the Disrupted*” (2016), reforça-se o senso comum de que a inovação nasce prioritariamente dentro das empresas, sua velocidade é exponencial e ignorá-la significa ser substituído. O documento descreve a disrupção como força destrutiva que redefine fronteiras e atinge setores tradicionais. Líderes entrevistados pela KPMG destacam carências organizacionais (integração interna, cultura de inovação, visão estratégica) que dificultam a leitura de impactos e o alinhamento de esforços. Muitas corporações não sabem quais tecnologias priorizar, elevando riscos financeiros e provocando atrasos frente às megatendências. Em suma, a disrupção raramente figura no topo da agenda executiva devido à escassez de profissionais qualificados e à dificuldade de vislumbrar novos mercados, ainda que, paradoxalmente, estimule competição e investimentos. Para o mercado, a disrupção aparece como via para resolver problemas operacionais, transformar a relação com o consumidor e reformar modelos de negócio. A KPMG recomenda torná-la pauta executiva, guiada por projetos-piloto que combinem formação tecnológica e experiência empresarial, monitorando indicadores como satisfação do cliente, produtividade e redução de custos; reforça ainda a participação ativa da alta gestão, frequentemente limitada aos departamentos de TI. Já mais cauteloso, o artigo “*Tech for Good: Smoothing Disruption, Improving Well-Being*” (McKinsey, 2019), de uma das “*Big Three*”, sustenta que empresas e governos devem mitigar efeitos desestabilizadores da ruptura causada pela inovação tecnológica, evitando ameaças à justiça e equilíbrio social – as negatividades sistêmicas que nos falou Lacey. Preocupa-os a insegurança decorrente da difusão acelerada de novas tecnologias, sobretudo onde faltam políticas adequadas de transição laboral, evidenciando a fragilidade da narrativa de que a disrupção é uma força do progresso humano.³¹ Entre as ações propostas:

- (i) Financiar pesquisas que antecipem riscos sociais – mas subordinada a lógica de concentração;
- (ii) Investir em requalificação profissional contínua – sem questionar ou travar as forças inovativas;
- (iii) Difundir tecnologias digitais de modo inclusivo, conciliando crescimento econômico e redução de desigualdades – algo que, sob a lente da história, é um tanto quimérico, a difusão é geralmente assimétrica, a busca da equidade é apenas uma correção parcial.

³¹ “*Big Four*” refere-se às quatro maiores firmas globais de auditoria e consultoria: KPMG, Deloitte, Ernst & Young (EY) e PricewaterhouseCoopers (PwC). “*Big Three*” designa as três maiores consultorias de gestão estratégica: McKinsey & Company, Boston Consulting Group (BCG) e Bain & Company

Ao deslocar-se das salas de administração para os corredores dos hospitais, o imaginário da disrupção revela sua face sensível e humanitária: a promessa de revolucionar a saúde humana. Se, no plano empresarial, a noção orienta estratégias competitivas, no domínio biomédico ela converge economia e moralidade, convertendo expectativas de lucro em narrativas de salvação do corpo e extensão da vida. É esse trânsito, da gestão corporativa ao cuidado com a saúde, que atravessa o modelo de negócios das *startups* em saúde.

3.5. Disrupção e Saúde

Stuart Hogarth, no artigo “*Valley of the Unicorns: Consumer Genomics, Venture Capital and Digital Disruption*” (2017), argumenta que a disrupção, no contexto central, estadunidense, é um mediador discursivo entre valor econômico e valor moral, constituindo um novo capítulo no “*evangelho do individualismo*”. Enquanto discurso promissório equipara o presente a uma transição social perpétua, protagonizada pelo empreendedor, ator audaz, ágil e, frequentemente, crítico do Estado e sua regulamentações, tidas como travas do progresso. As práticas especulativas, alimentadas pelo capital de risco, encontram solo fértil no Vale do Silício, onde ocorre, segundo Hogarth (Ibid.), uma expansão do regime de esperança: a fusão do liberalismo de inspiração randiana, na figura do empresário heroico, com o evolucionismo de Schumpeter que descreve a destruição criativa como motor do capitalismo.³² O resultado é a representação transcendental do empreendedor como vetor civilizacional. Na saúde, a disrupção projetaria a conquista dos processos de adoecimento e cura, ampliando a longevidade e, quiçá, superando limites biológicos. Cura, longevidade, performance corporal legitimam a acumulação, monopólio e poder, a relevância depende de um gesto compartilhado entre enriquecimento e cuidado, a bom tratamento supõe patentes, capacidade de escala da indústria, pessoas, famílias e Estados dispostos a pagar pelo acesso, especialmente quando o preço é quase proibitivo. Com base no estudo de uma *startup* bilionária de testes genéticos, Hogarth descreve o ciclo típico da disrupção encarnada pelo empreendedor aspirante a tecnocrata da seguinte maneira (Figura 3):

³² Ayn Rand (1905-1982), romancista russo-americana, cristalizou em “*Atlas Shrugged*” (2005) a filosofia objetivista e fisiocrata, que exalta o individualismo racional, o mérito e o *laissez-faire* (deixe fazer, deixe passar) como os motores legítimos do progresso. No romance, os titãs da indústria, cansados de regulações estatais que “punem” a excelência, retiram-se da sociedade, demonstrando que o bem-estar coletivo depende justamente do engenho e da liberdade irrestrita desses “motores do mundo”. O livro tornou-se leitura de cabeceira para muitos fundadores e investidores do Vale do Silício: *a figura do empreendedor visionário que, guiado por mérito e razão, “merece” acumular riqueza e moldar o futuro legitima tanto o capital de risco quanto a retórica disruptiva*. Essa influência cultural reforça a crença de que a inovação tecnológica se realiza melhor quando as forças de mercado permanecem livres de “amarras” regulatórias, convertendo o sucesso empresarial em prova moral de valor e em argumento para a mínima intervenção do Estado.

- Um CEO “apaixonado” pela tecnociência conquista visibilidade por meio de retórica rebelde, da “saúde ótima”. Forma-se então um hype que atrai mídia, investidores e consumidores, suas declarações são supervalorizadas e depois convertidas em influência numa crescente. O CEO concede entrevistas e protagoniza capas de revistas famosas como a personificação de um futuro brilhante. Amparado em otimismo tecnológico, o CEO busca controlar os dados gerados enquanto sua plataforma cresce e minimizar os riscos inerentes à concentração informacional, explorando brechas regulatórias para contornar mecanismos de controle social. Se necessário, aciona as redes de lobby para flexibilizar normas e pressionar o poder público pelo reconhecimento da excepcionalidade da inovação, de que a melhor política é não intervir, que regulamentação implica atraso tecnológico. O objetivo final é assegurar uma posição hegemônica e adaptar o modelo de negócio a diferentes jurisdições, globalizando-o e neutralizando movimentos críticos. Nesse ciclo, a noção de disrupção legitima o enriquecimento e a conquista de poder sob o pretexto de uma “mudança positiva” para a humanidade, embora toda a dinâmica subjacente implique em maiores riscos existenciais.

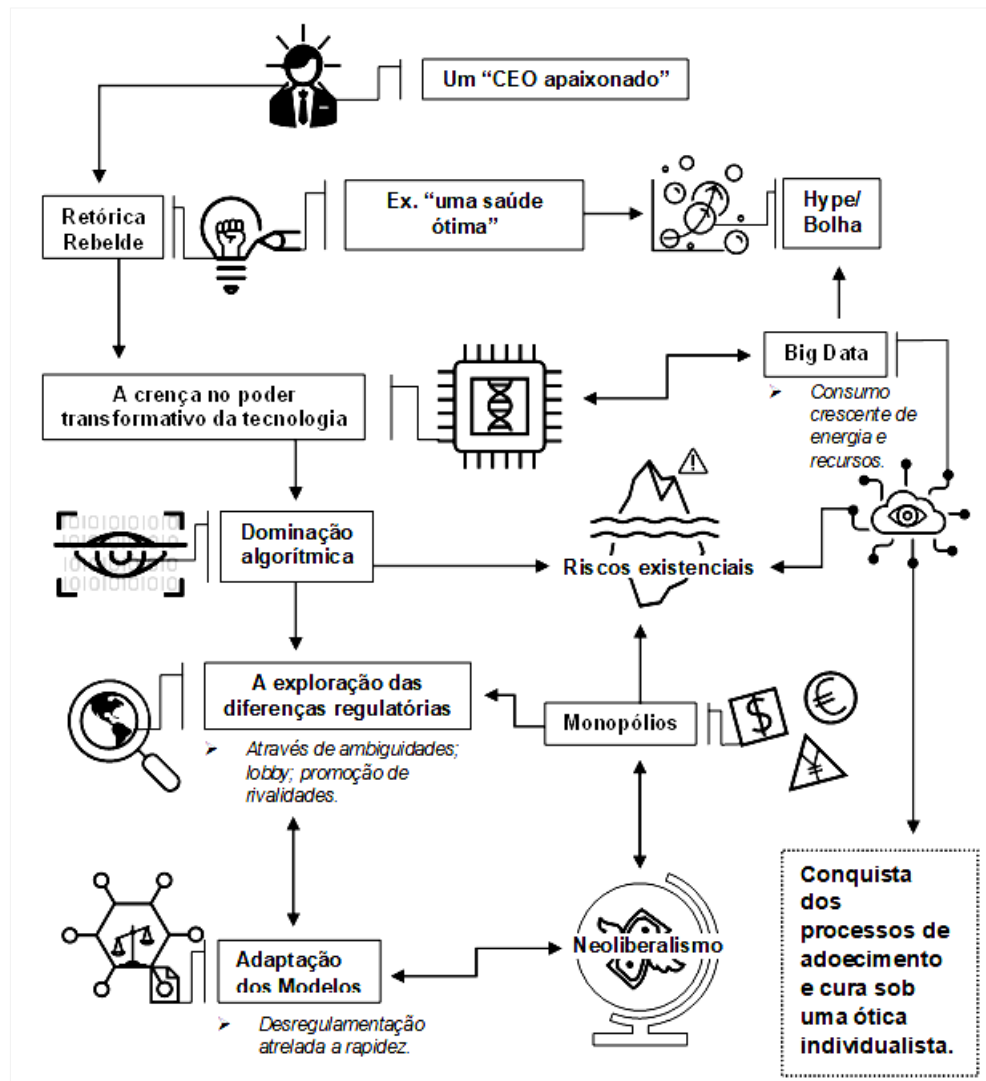


Figura 3: Representação das relações entre promessas disruptivas e estrutura social.
Fonte: Elaboração própria.

Segundo o idioma coprodutorista, o ciclo descrito a partir de Hogarth (Ibid.), do CEO apaixonado que tem a sua identidade validada como autêntica, é coproduzido pelo arranjo da tecnociência. O carisma ou mérito isolado não são suficientes, importa mais a aderência com a estratégia discursiva dos negócios que se pretendem disruptivos, isto é, legitimar o ganho econômico e de poder pela subordinação das noções sobre bem e dever. Alcança-se a cura, longevidade e superação dos limites num horizonte de acesso excludente ou insustentável. A empresa disruptiva deseja o controle de mercado e não demonstrar de modo científico e comunal o impacto ou eficácia de uma tecnologia, na perspectiva de dividi-la ou criar uma consciência maior. A avaliação é posta sob sigilo, pois ela poderia desestabilizar o ciclo de legitimação da *startup*, algo exemplificado pelos casos de intervenção nas equipes de engenharia e pesquisa, seja para acelerar lançamentos ou até mesmo abafar desvios de conduta – a *Neuralink*, por exemplo, é citada pela letalidade de suas experimentações com animais e supostos maus tratos.

Na trajetória disruptiva, o *hype* está embebido de uma racionalidade ajustada ao alto nível de incerteza e à especulação sobre o progresso tecnológico, produzindo um contexto no qual o valor do negócio antecede a viabilidade imediata. É possível ser uma *startup bilionária*, um *unicórnio* no discurso disruptivo e mesmo assim operar por anos no vermelho. O valor de mercado fala mais dos efeitos pretendidos da estratégia de globalização – concentração e monopólio, no limite – e controle das condições econômicas e políticas para movimentar as sociedades em direção a um ordenamento favorável ao empreendimento.

Quando falamos de saúde, a ética de autocuidado e aprimoramento se entrelaçam na busca das terapias mais efetivas. A racionalidade atual reconhece a contingência entre normal e patológico, estabelecendo um continuum entre risco e controle. Diagnóstico e prognóstico envolvem considerações ambivalentes que dificultam categorizações puras e assertivas sobre o estado de saúde de uma pessoa. Na verdade, há pesos e contrapesos que aproximam a “medicina da precisão” de uma vigília abrangente de muitos fatores, apoiada pela estatística e aprendizado de máquina, com a utilidade de prever o adoecimento e fortalecer a vitalidade. Ou seja, o trunfo é menos sobre o conhecimento preciso – a causa exata de um câncer, por exemplo – e mais sobre a competência em monitorar e identificar problemas para investigação – procedimentos preventivos, terapias intensivas que atuem nos primeiros estágios de uma doença, acompanhamento pela vida toda, conscientização de familiares e amigos sobre fatores genéticos e ambientais.

A governança da incerteza além de compor a paisagem ontológica é o fio que conecta e subordina o dever de cuidado à ótica individualista em que cada pessoa é responsável pela conquista das condições de acesso para si. A promessa de uma maior precisão é efeito de uma estratégia intensiva de vigilância e dados, que exige uma infraestrutura digital cara e alcance globalizado, sem os quais não é possível elaborar os indicadores de convencimento que transmitirão a mensagem de um risco eminente ou de um contrapeso decorrente de hábito ou característica herdada, que possa deslocar um estado de saúde precário para um quadro de adoecimento grave. A significância dessa mensagem – de que o pior poderá ser evitado – legitima o papel de concentração de dados que catapulta as *startups* digitais de saúde como provedoras de serviços essenciais, vestindo a estratégia de negócios e a ideologia californiana com um manto de humanitarismo que esconde as dinâmicas excludentes. Promessa de saúde ótima e uma estrutura social desigual, fundada na assimetria da tecnociência, são coproduzidas. Essa dinâmica prefigura o que Rose e Abi-Rached (2013) denominaram "ética somática": a identificação do sujeito com as potencialidades materiais de seu organismo, mediada pelo conhecimento científico e pela tecnologia disponível. No contexto disruptivo, tal ética opera pela responsabilização individual – cada pessoa deve conquistar as condições de acesso às terapias que otimizarão seu corpo. O cuidado de si torna-se, assim, indissociável da capacidade de consumo e a saúde passa a figurar como capital a ser gerido numa lógica de investimento e retorno.

Marina Levina, em *“Disrupt or Die: Mobile Health and Disruptive Innovation as Body Politics”* (2016), define a disrupção como mantra convocatório que promete revolucionar a infraestrutura econômica destruindo a anterior. Embora reconheça a genealogia schumpeteriana do conceito, a autora sustenta que a disrupção não é neutra nem necessariamente benéfica. Primeiro, porque a *Big Tech* controla de modo opaco o armazenamento e a circulação de dados digitais; segundo, porque amplia a distância entre Norte e Sul Global, esgotando oportunidades de inserção. Falta clareza sobre benefícios coletivos. A ruptura social costuma escapar ao controle democrático e favorecer soluções individualizadas, deslocando a atenção de bens públicos para o consumo, esfera mais estreita e despolitizada. A crítica de Levina converge com Maiju Tanninen et al. em *“Tracking Lives, Forging Markets”* (2021). Ao pesquisar seguradoras de saúde finlandesas, os autores mostram que a maior parte da literatura sobre disrupção carece de dados empíricos e ignora os enquadramentos regulatórios em discussão. Por exemplo, algoritmos que incentivam estilos de vida saudáveis podem, ao mesmo tempo, excluir pessoas

de alto risco, produzindo discriminação algorítmica. Tais mudanças ocorrem de forma lenta e negociada, distante da narrativa de colapso imediato, mas ainda assim problemáticas.

Mauro Turrini, em “*Online Genomes: Problematizing the Disruptiveness of Direct-to-Consumer Genetic Tests*” (2018), aprofunda a dimensão cultural do conceito. Disrupção não é uma noção estática, usuários e provedores reatribuem significados para privacidade, especulação de mercado ou desempenho tecnológico. Para Turrini, a noção opera como força ideológica que intensifica vulnerabilidades sociais ao prometer salvação pelo novo, não necessariamente pelo melhor. No caso das tecnologias médicas, surgem tensões entre narrativa e prática. Muitos testes genéticos, por exemplo, mantêm preços elevados, penalizando famílias e orçamentos públicos. Argumenta-se que custos de P&D, certificação regulatória e altas taxas de fracasso justificam esses valores. Contudo, tal cálculo ignora o financiamento estatal desde a pesquisa básica. Assim, riscos são socializados enquanto lucros são privatizados, reforçando monopólios, a epítome da *Big Pharma*. Sobretudo em sistemas de saúde pública, o apoio acrítico à disrupção ofusca carências estruturais: escassez de profissionais, restrições orçamentárias e desigualdade de acesso. Incorporar tecnologias caras ameaça a sustentabilidade financeira dos sistemas públicos, pois poucos se beneficiam dos avanços subvencionados coletivamente.

A assimetria centro-periferia é um dos modos de operação da dialética entre valores sociais e cognitivos. No centro a composição entre fecundidade e significância está institucionalizada segundo o objetivo de governar a incerteza para alcançar no futuro a posição monopolista, mediada pela inovação tecnológica. O conhecimento que circula nas instituições acadêmicas e de pesquisa é apropriado e transformado por *startups* e corporações que, ao especularem sobre o progresso, criam as condições imediatas e excepcionais de experimentação e desenvolvimento. Isso envolve mobilização, em graus distintos, de capital financeiro e humano com a aspiração clara de uma posição vantajosa no mercado, com força nas rotas tecnológicas e ganhos meio aos impactos ecológicos e sociais. Nas periferias as condições de apropriação, características do capitalismo de risco, mostram um caráter dependente. A estratégia é importada e ajustada para acomodar as pretensões locais por colaborações e acesso a infraestrutura, que para ascenderem internamente precisam aspirar uma agenda favorável e subordinada ao centro. A composição que se forma entre fecundidade e significância está capturada, então o pesquisador emigra, a *startup* é adquirida, a tecnologia é transferida. No domínio da saúde, essa captura assume forma particularmente perversa: os ensaios clínicos são realizados nas

periferias, os dados são extraídos de sistemas públicos subfinanciados, mas as terapias resultantes permanecem inacessíveis às populações que subsidiaram seu desenvolvimento.

A dinâmica dominante implica uma restrição das alternativas pois, dado que a busca pelo controle se impõe como regra, a dialética que poderia favorecer a expansão dos serviços públicos é esvaziada em pró do exercício do poder. A dialética se interrompe nas periferias não por falta de excelência, mas por uma relação estruturalmente desfavorável com as condições de contorno e significância social que, por sua vez, viabiliza a governança da incerteza no centro pela chave da concentração – desde os subsídios públicos, ensaios clínicos, corpos, dados dos pacientes e orçamentos para atenção básica. A promessa de cura e longevidade, quando acompanhada da disrupção, se realiza para os que podem pagar ou onera os sistemas públicos de tal maneira que ameaça a sustentabilidade deles.

3.6. Aprimoramento humano

O termo aprimoramento refere-se a intervenções destinadas a expandir capacidades para além do normal ou terapêutico. Engloba melhorias biomédicas, como edição genética, medicamentos, implantes e próteses avançadas, que visam elevar a performance física, cognitiva ou emocional. Embora a ideia de uma humanidade melhorada seja antiga (vide alquimia às histórias de heróis e semideuses), foi no século XX que ganhou contornos “científicos” com a emergência da eugenia.

Na sua versão clássica, propunha aperfeiçoar o humano por meios seletivos e coercitivos, via aparato estatal, culminando em tragédias como o nazismo. Mais recentemente, a aspiração de melhoramento repudia as práticas coercitivas do passado, resultando no que alguns comentadores chamam de “*nova eugenia*” ou “*eugenia liberal*” (LEVITT & O’NEILL, 2010; SPARROW, 2011). Nessa visão, o aprimoramento é visto como um direito estendido da liberdade reprodutiva e da autonomia individual, de poder escolher o “melhor possível” para si e sua descendência. Ela se pretende, enquanto retórica, mais pluralista e inserida no mercado, em oposição a imposição governamental, que caracteriza a definição clássica de biopoder. Se liga, mais recentemente, ao “transhumanismo”, corrente filosófica que argumenta pelo dever da ciência em atuar na superação das limitações biológicas (como o envelhecimento e a morte) e problemas sociais (como a falta de empatia), de modo a inaugurar uma história “pós-humana”.

O valor de controle – eixo central da retórica de disrupção – é reconfigurado pelo discurso ‘aprimorador’ que chamamos aqui de autonomia competitiva. Narrativas dominantes associam

controle técnico à expansão de autonomia inclusiva, mas também projetam o “humano aumentado” com otimização de atenção, redução de fadiga e aprendizado acelerado. A ideia de aprimoramento desloca a dialética entre fecundidade e significância, de modo que os ganhos técnicos antecipam ganhos distributivos e sua difusão tende a ser desigual. Este descompasso ecoa o “pensamento do super-homem” (Pedersen 2018), reforçando a necessidade de uma crítica ao capitalismo e suas novas formas de biopoder.

A literatura sobre aprimoramento humano articula, pelo menos, três eixos analíticos:

- (i) **Filosofia moral e fronteira terapia versus melhoramento:** Bostrom & Sandberg (2009) tipificam modos de melhoramento (cognitivo, moral, estético) e defendem um utilitarismo “transhumanista” baseado em beneficência. Em contraste, Carl Elliot (2004) e Michael Sandel (2007) apontam o perigo de uma ética da “perfeição”, que desloca o valor da aceitação da contingência humana. Habermas (2004) acrescenta a crítica da “inescrutabilidade da escolha”, quando pais decidem irreversivelmente pelo corpo/genoma dos filhos.
- (ii) **Economia política do corpo:** Kean Birch (2008) descreve o “capitalismo biotecnológico” como tentativa de resolver problemas sociais via inovações tecnológicas, um deslocamento de responsabilidade pública para soluções mercadológicas. Anna-Sophie Graefe (2018) cunha o “pensamento de super-homem” para caracterizar o viés neoliberal que transforma sujeitos em capital biomédico a ser maximizado. Estudos recentes sobre longevidade mostram como fundos de alto risco internalizam a promessa de estender a vida (Calico, Altos Labs) como nova fronteira de acumulação biopolítica.
- (iii) **Imaginário pós-humano:** Jay Olshansky (2004) e Andy Clark (2013) situam o aprimoramento como narrativa de revolução evolutiva – a “sombria infância” da espécie humana antes da maturidade tecnocientífica. Nicolas Rose (2007) introduz a noção de ética somática: em sociedades do desempenho, o corpo vira projeto permanente de auto-otimização, naturalizando a busca por upgrades cognitivos. Estudos STS mais recentes (Schick & Riek 2021) enfatizam como hipóteses especulativas, como telepatia digital e super-IA, que funcionam como “capital antecipatório”, atraindo recursos antes de demonstrações concretas.

Esses três eixos convergem na pergunta: *quem define o limiar entre cuidado legítimo, doping elitista e quem suporta os custos sociais da normalização do aprimoramento?* A ausência de salvaguardas legais claras pode transformar o “direito de se otimizar” em obrigação competitiva, reforçando hierarquias globais (centro–periferia) e locais (classe, gênero, capacidade). Mairi Levitt e Fiona O’Neill (2010), por exemplo, argumentam que não podemos aplicar ao melhoramento humano este modelo de mercado de bens de consumo, justamente porque isso deixaria os pobres de fora dos benefícios por muito tempo. Janet Kourany (2014) ecoa a preocupação de que, sobretudo no início, o acesso será restrito e com o passar do tempo os menos favorecidos se tornarão aqueles indivíduos relativamente menos saudáveis, menos atraentes, cognitivamente menos capazes, emocionalmente mais frágeis em comparação aos aprimorados. Em outras palavras, poderiam criar clivagens sociais.

Imagine um mundo onde uma elite enriquecida não só tem mais dinheiro e educação, mas também vidas significativamente mais longas, corpos reforçados e inteligência aumentada. Tal cenário de “espécies” humanas divergentes – os potencialmente pós-humanos versus os “meramente humanos” – é frequentemente mencionado nas críticas ao transumanismo.

O imaginário disruptivo carrega o viés neoliberal, do corpo como capital. Toda a tradição foucaultiana salienta esse ponto, o organismo converge para um projeto individualista, deslocando a medicina do ‘cuidado para com um outro’ para o ‘cuidado de si’. A autonomia liberal converte-se em obrigação social. É importante notar que as exigências de alto desempenho já impulsionam uso *off-label* de psicoestimulantes e as interfaces, se viabilizadas, provavelmente seguirão – por se tratar de um mundo regido pela lógica competitiva – um padrão semelhante. O acesso inicial a tecnologias caras tenderá as elites, militar ou esportiva, e, uma vez normalizadas, a recusa ao aprimoramento pode ser vista como negligência, principalmente pelas classes médias, embricadas na economia digital e que dependem dela para ganhar dinheiro.

A articulação entre autonomia, competição e melhoramento humano ressoa profundamente com a análise de Byung-Chul Han sobre a sociedade do cansaço e o surgimento do "*sujeito de desempenho*". Para Han, a sociedade capitalista opera uma transformação fundamental: "[...] *mudou o registro da exploração estranha para a exploração própria, a fim de acelerar o processo. O sujeito de desempenho, que se imagina como soberano de si mesmo, como homo liber, aparece como o homo sacer*" (HAN, 2017, p. 63). Neste contexto, o que aparenta ser autonomia revela-se como uma forma mais eficiente de controle: "[...] *a partir de um certo nível de produção, a autoexploração é essencialmente mais eficiente, muito mais produtiva que a exploração estranha*" (Ibid., p. 61). O deslocamento da medicina para o "*melhoramento humano*" e a reconfiguração do paciente como sujeito competente ilustram precisamente esta dinâmica. A busca pelo desempenho corporal e cognitivo através das neurotecnologias não representa libertação, mas intensificação da lógica da performance para o filósofo: "*Funcionar melhor é interpretado, fatalmente, como melhoramento de si mesmo*" (Ibid., p. 68). O resultado patológico desta configuração é o *burnout*, que "*é a consequência patológica de uma autoexploração*" (Ibid., p. 58), emergindo quando o sujeito, "*em última instância, está concorrendo consigo mesmo, procura superar a si mesmo até sucumbir*" (Ibid., p. 52). As neurotecnologias, nesta perspectiva, podem funcionar como dispositivos que intensificam a "*concorrência absoluta*" do sujeito consigo mesmo, transformando a própria neuroplasticidade em campo de otimização performática.

3.7. Considerações finais

A combinação entre controle (valor social) e precisão (valor cognitivo associado a predição) é um elemento central da disrupção na era digital. Na dialética subjacente, os dados digitais são simultaneamente natureza e conhecimento, formam o ponto mais estreito entre significância e fecundidade na tecnociência, como que numa ligação covalente, quase inquebrável – no idioma da coprodução: um arranjo sociotécnico estabilizado, com identidades, instituições, discursos e representações.

A ordem social exige grandes bancos de dados e infraestrutura física e humana de computação, que constituem um circuito de extração de conhecimento e especulação sobre o valor de mercado da primeira empresa a alcançar um nível excepcional de controle e escala. O usuário-consumidor é pressionado a consentir para fazer fluir os dados ao polo concentrador, as plataformas, que mobiliza o trabalho de cientistas e engenheiros para analisar e intervir nesse fluxo, alargando-o (mais dados, mais computação) e tornando-o para vantajoso (mais participação, mais lucros). No tocante às incertezas, a estratégia de governança passa pelo enfraquecimento do poder público na regulamentação, de modo a subordinar princípios como sustentabilidade, acesso, segurança e privacidade (a lista e suas combinações é longa) à busca pela liderança no mercado e pelo poder decorrente da superioridade tecnológica, como força monopolista. A dinâmica de concentração suprime a emergência e estabilização de estratégias e possibilidades alternativas, orientadas para o fortalecimento dos bens-públicos. A destruição criativa implica alguma homogeneidade nos movimentos de legitimação, que alcançam o imaginário sociotécnico como visões de transformação radical da sociedade (disrupção), inevitáveis, contudo vantajosas se instrumentalizadas – a crise é potencialmente uma oportunidade excepcional. Os dados são, portanto, o principal ponto de estabilização e sua aparência de necessidade – o fatalismo de que não há como inovar de outra forma a não ser via concentração –, de operar por conta própria, deriva de uma configuração histórica particular (as condições de contorno, capitalismo, militarismo, colonialismo).

O valor do controle é o polo mais forte, ele atrai o valor da precisão, conforma uma dialética em que as possibilidades de conhecimento, uma manifestação inerentemente múltipla, estão capturadas. A dialética entre valores é assimétrica, o que importa é o *‘conhecimento que controla e disputa’* e não o conhecimento para qualquer outra combinação de valores. O controle não é uma manifestação genérica, se combina ao valor da competitividade, manifesto na maximização do capital pelo consumo e os algoritmos que fazem a mediação na economia

digital. A dialética dos valores engaja o humano, as biografias, interioridades e preferências, toda uma complexidade que supera e é anterior à economia digital. Ao mesmo tempo, se manifesta nos algoritmos que moldam o humano, quando não o antecipam, viabilizando o conhecimento baseado em dados (*big data, big tech*) como um vetor de futuro. A polaridade entre controle (combinado ao da competição) e precisão (empiricidade, num sentido mais abrangente), na qual os dados digitais estreitam a ligação, constitui o núcleo da dialética hegemônica. Para ser desestabilizado exigiria uma revolução política, para que assim o conhecimento deixe de fluir em direção a especulação financeira e concentração irrestrita. Na prática, a ligação oscila, em diferentes ressonâncias, ora como mercadoria (conhecimento para o usuário, com alguns usos subversivos), ora como vigilância (conhecimento sobre o usuário, ativo estratégico).

O imaginário disruptivo floresce meio a indeterminação ontológica. A possibilidade de sucesso, mesmo que remota ou contestada, é suficiente para legitimar a especulação sobre a prioridade dos meios de realização, seja eles institucionais, humanos ou econômicos e os ganhos decorrentes para empresas e países. A indeterminação é uma barreira estrutural de entrada e em alguns contextos se traduz numa significância aspiracional, numa dialética instável nas periferias. No caso das tecnologias digitais, fala-se da propriedade dos dados, dos meios para produzi-los e fazê-los circular, da restrição de acesso ou a falta deles. Em alguns contextos, se não a maioria, a ligação é muito fraca e dependente. A disrupção, com as suas promessas de inserção capitalista não é uma possibilidade universal ou espontânea. Se o controle do fluxo do conhecimento para a acumulação assim o fosse, como um recurso disponível, não haveria disrupção no seu sentido instrumental, tampouco o empreendedor heroico, catalizador da transformação sociotécnica, os “*tech bros*” representados por figuras como Elon Musk e Mark Zuckerberg.

Nos contextos centrais o arranjo sociotécnico está mobilizado pela incerteza enquanto oportunidade, algo para se apostar, legitimando a disrupção através de um imaginário de controle e concentração excepcional. Outra característica, seguindo Jasanoff (2004) é a velocidade transformadora, com sua retórica do “*move fast and break things*” que perturba a esfera pública, frequentemente limitada a reação e mitigação. Com disso, a responsabilidade sobre os danos é diluída na massa de consumidores-usuários, fascinada pelas novas tecnologias e deixa de se questionar a falta de cautela dos empreendedores, representados quando envolvidos em alguma polêmica como vítimas do progresso – afinal, chegar primeiro é condição de

legitimidade, a demora rebaixa a oportunidade em fracasso, quem inova precisa tolerar os riscos, para assim antecipar o futuro, fazê-lo chegar mais rápido.

Quando a premissa dos dados digitais é um corpo, o estado de saúde e doença de uma pessoa ou grupo populacional, a dialética na sua forma hegemônica, quase exclusiva dos poucos centros disruptivos, a indeterminação torna-se ainda mais desafiadora – como no caso das neurotecnologias, os dados são sobre a experiência humana. O trabalho exigido para torná-los capturáveis, com a especulação que o torna legítimo a longo prazo, é hercúleo. A plasticidade neural é um fato científico, contudo não é neutra. Quando acionada, seja para a terapia, seja para a contestável otimização, exorta-se uma forma de ética particular, somática nas sociedades liberais, na qual o conhecimento dos mecanismos biológicos mais fundamentais pavimentam o caminho para a transformação do humano – os entusiastas diriam evolução da espécie, pela otimização genética e cibernética. A coprodução, nesse caso, atrela o conhecimento e controle num todo indistinto. Onde termina o conhecimento do cérebro, a epistemologia das neurociências e começa o controle do humano, com todo o seu aparato tecnológico de governança?

O controle no caso das neurotecnologias equipara o dado ao padrão neural, o conhecimento a capacidade de modular o cérebro, de modo que a resposta para a pergunta é quase sempre um limiar a ser ultrapassado com mais dados. Isso radicaliza o problema da indeterminação, pois não é sempre possível saber o estatuto do que se registra, se há correspondência entre padrão e intenção. Com efeito, a mentalidade de trás da ânsia dados e precisão viabiliza a especulação que identifica a pessoa com a sua saúde, o autocuidado com o cérebro e legitima o desenvolvimento de novas tecnologias e terapias (incluindo a ampliação de funções).

Não há nada na relação com as condições de contorno (capitalismo, militarismo) que seja espontâneo, a coprodução da disrupção é onerosa, exige legitimação e o imaginário da crise social é a cola. Em outras palavras, a possibilidade de modular a vida cognitiva pelas neurotecnologias, desde o controle motor até a razão e seus efeitos práticos, da assistência até a otimização, exige visões de futuro nas quais ciência, aplicação, infraestrutura e capital formam um amálgama que une trabalho com promessas. A estabilização em ‘caixas-pretas’, fundamentalmente opacas, com a implícita antropomorfização dos computadores, de uma segunda natureza emergente nas interfaces humano-máquina (se real ou aparente é outra questão), mais a relação entre especulação e mercado são materializações da ordem sociotécnica dominante, a tecnociência.

De uma perspectiva fenomenológica, a coprodução do sujeito-usuário é ambivalente: por um lado, acesso via mercado a tecnologias avançadas com interfaces amigáveis, funcionais e produtivas; por outro, no tocante à compreensão dos mecanismos, alienados, vigiados e expropriados. A incerteza ontológica que cerca as tecnologias informacionais de ponta, como as IAs, mas também as Interfaces Cérebro-Computador como um passo em direção a uma maior hibridização informacional, amortece parte do impulso crítico dada a indefinição do objeto de resistência. Apesar dos questionamentos sobre a ordem sociotécnica – no fundo críticas ao capitalismo, especulação financeira e monopólios – a inovação encontra poucas travas efetivas contra os danos. As alternativas sistêmicas, como cooperativismo e tecnologias sociais, permanecem marginais, restritas às comunidades de usuários livres (*open-source*). Até mesmo em contextos distintos ao do Ocidente liberal, como o da China, há estruturas monopolistas e uma aposta nos conglomerados que evidencia a convergência global num imaginário de controle e competição, caracterizado pela pressa em chegar primeiro e atingir o mercado e sociedade com força devastadora.

A “destruição criativa” schumpeteriana, reembalada sob o rótulo de “inovação disruptiva”, desponta não só como propulsor econômico, mas também como retórica performativa capaz de orientar estratégias, redefinir horizontes de possibilidade e reconfigurar a própria significância social. Conforme caracterizado pela literatura, a disrupção opera na lógica das estratégias materialistas, intensificando o valor atribuído ao controle – agora estendido à gestão de dados. A ascensão da Big Tech, acompanhada de dinâmica monopolista, revela como a disrupção se inscreve em relações de poder, reforçando a assimetria centro-periferia. A disrupção opera num regime de valores que hierarquiza conhecimento e tecnologia, privilegiando soluções concentradoras. A fronteira tecnológica também é a fronteira do capitalismo.

Ao mesmo tempo que se celebra o potencial econômico, constata-se efeitos da monopolização, precarização, atomização social e erosão da esfera pública. Essa dinâmica adquire contornos ainda mais agudos no domínio das neurotecnologias. A progressiva centralidade do cérebro como alvo da intervenção tecnocientífica, articulada à promessa disruptiva de controle e otimização mediante a “plasticidade neural”, coloca as neurociências no epicentro. Elas encarnam, simultaneamente, a esperança de novas possibilidades terapêuticas (fecundidade) e os riscos inerentes a estratégias de vigilância, mercantilização e controle da vida (significância contestável).

4. A visão materialista das neurociências para a vida e sociedade

As neurociências orientam-se por uma estratégia materialista, de perspectiva funcional e sistêmica, centrada no estudo do cérebro como objeto biológico. Nikolas Rose e Joelle Abi-Rached (2013) falam de "materialismo renovado", enquanto Fernando Vidal e Francisco Ortega (2017) discutem a emergência do "cerebralismo" na cultura ocidental. Os autores convergem para o apontamento de que se busca uma compreensão precisa e material do cérebro, enquanto social e culturalmente difundem-se interpretações do humano ancoradas nas neurociências.

O conceito de estratégia materialista, conforme Hugh Lacey (2008, 2010), trata de um conjunto de compromissos metodológicos e ontológicos que explicam fenômenos em termos mensuráveis e controláveis, reveladores de leis e regularidades naturais. Tal estratégia manifesta-se no refinamento dos instrumentos de simulação da atividade cerebral, com o objetivo de elucidar fenômenos complexos, especialmente a plasticidade ou capacidade adaptativa ao ambiente. A máxima precisão das simulações, o controle rigoroso das condições experimentais, a padronização dos protocolos e, em última instância, do próprio sujeito, são características fundamentais do materialismo. Frequentemente, o fim é a produção de mapas detalhados das conexões neurais, que permitam transitar entre diferentes escalas e reforçam a ideia de continuidade entre cérebro e mente de uma perspectiva quantificável e visceral. Nesse contexto, o status ímpar da vida humana é contestado, já que as diferenças entre humanos e outros animais são concebidas como questões de complexidade e não de essência.

A transformação ontológica do *humano como um animal entre outros* viabiliza a capacidade de intervenção tecnológica e científica dos sujeitos. Contudo, embora dominante, o materialismo não é exclusivo ou, no plano dos resultados, plenamente decisivo. As neurociências são plurais, com tradições diversas, abordagens distintas, feitos e erros, uma história milenar com antecedentes no Egito antigo. Conforme discutido, ao revisar a teoria dos valores de Lacey, a pluralidade é um pressuposto lógico e, embora frequentemente sacrificada, é necessária para as ciências. Sem pluralidade degenerariam em conhecimentos estéreis, o que não é o caso. Isso implica uma distância entre o conhecimento e os contextos de produção, frequentemente levando a desequilíbrios ou rupturas. Por exemplo, as metáforas informacionais e cibernéticas que emergiram nos anos 1950 e 1960 foram formativas, muito utilizadas para explicar o cérebro pela comparação com os computadores, contudo foram e são contestadas, do mesmo modo que as metáforas mecanicistas do século XIX.

Do ponto de vista da teoria dos valores, a fecundidade pode estar descolada da significância, com um impacto restrito às instituições acadêmicas, com possibilidades desconhecidas pela sociedade mais ampla, sobretudo porque são frequentemente especulativas ou teoricamente plausíveis, mas desamparadas no plano da experimentação, quando não ontologicamente desafiadoras.³³ Este capítulo analisa a emergência das visões dominantes sobre o cérebro a partir do marco teórico dos valores sociais e cognitivos, mobilizando resultados e argumentos pertinentes junto ao idioma da coprodução. Ao invés de rejeitar o materialismo, aponta-se a constituição mútua entre ciência e ordem social. Não se trata somente de conhecimento preciso, mas sobretudo de socialização, as estratégias que dão acesso ao cérebro, os arranjos implícitos (Jasanoff, 2004). A abordagem é integrativa e ensaística, fundamentada na literatura que se debruçou sobre o tema “neural”, mas não é exaustiva, apesar das digressões feitas para aprofundar a problemática da emergência, de modo que historicamente há muitos outros eventos que poderiam ser mobilizados. Recorremos ao passado para contextualizar o objeto de pesquisa, as Interfaces Cérebro-Computador e retirar desse exercício de retorno reflexões sobre o materialismo atual.

O exercício teórico consiste em operacionalizar a dialética dos valores cognitivos, tal como proposta por Lacey (Ibid.), no contexto das neurociências e o meio, a técnica textual para a construção de um caso, o idioma da coprodução com o seu conceito de imaginário sociotécnico de Jasanoff (Ibid.) e a perspectiva centro-periferia de Neves (2014; 2020) – arcabouço elaborado com mais detalhe no Capítulo 2. A dialética entre fecundidade (dimensão epistêmica, diz respeito a adequação do conhecimento produzido) e significância (dimensão ética, diz respeito a importância coletiva do conhecimento e sua intervenção) é apresentada de modo combinado as noções coproducionistas de constituição mútua entre identidades, instituições, discursos e representações e das assinaturas características da modernidade, de incerteza, desresponsabilização e velocidade transformadora, acompanhada da atenção metódica as assimetrias estruturais. O corpo de análise são observações de segunda ordem, colhidas em

³³ Em “The Idea of the Brain” (2020) o zoologista Matthew Cobb, se aventura na história dos estudos sobre o cérebro e demonstra que a desconexão é comum, exemplo disso é o fato de que por mais de 1500 anos a anatomia cerebral foi interdita enquanto experimentação empírica, via dissecações, pelos teólogos cristãos, retomadas apenas na Itália renascentista, e mesmo com o acúmulo de evidências empíricas a centralidade do cérebro foi questionada em pró de uma interpretação que situava a mente no coração até o final do século XVII. As metáforas desempenharam papel fundamental, a passagem feita pela filosofia natural, que rompeu com a escolástica ao adotar o mecanicismo, o corpo como autômato, foi fundacional e abriu caminho para as demais, como a elétrica ou meio de comunicação (séculos XVII-XIX), a funcional-localizacionista (século XIX) e a computacional (século XX).

estudos que transitam entre a sociologia e filosofia da ciência ou da saúde, além dos estudos CTS, que constituem as fontes da análise realizada.

Polo da Dialética	Correspondência com os fenômenos	Pergunta
Fecundidade (valores cognitivos)	Se a metáfora, imagem ou o sinal capturado representa processos neurais.	" <i>Funciona mesmo?</i> "
Significância (valores sociais)	Se a explicação ou intervenção importa para cientistas, público, sociedade.	" <i>Para quem serve?</i> "

Quadro 3: Fecundidade e significância, definições operacionais.

Fonte: Elaboração própria.

4.1. Materialismo Renovado

O materialismo renovado descrito por Rose e Abi-Rached (2013) caracteriza-se por uma conduta rigorosamente empirista, viabilizada por tecnologias avançadas de imagem, mais precisamente simulações e conhecimentos funcionais. Ele promove o controle experimental para estabelecer no laboratório a continuidade entre os níveis micro (neurônios, química cerebral) e macro (comportamentos), produzindo novos conhecimentos que narram integrativamente o que somos. O processo de estabilização desses conhecimentos em tecnologia médica, traduzidas para o mercado, é frequentemente o principal objetivo do materialismo atual. Já a "filosofia cerebral" ou "cerebralismo" que nos falam Vidal e Ortega (2017), coloca o cérebro como núcleo da identidade e da condição humana. Essa perspectiva é manifestada pela difusão do prefixo "*neuro*" em diversos domínios científicos e além, como neuropedagogia e neuromarketing e pela tendência de explicar problemas complexos pelo conhecimento dos processos cerebrais subjacentes. A subjetividade humana é reinterpretada pelo conceito de "plasticidade", uma propriedade intrínseca de formar novas conexões, essenciais à adaptação e evolução.

Segundo Vidal e Ortega (2017), o cerebralismo tem raízes históricas no racionalismo do século XVII, herdando noções ontológicas de autonomia e individualidade.³⁴ Desde Descartes,

³⁴ A ascensão do cerebralismo representou uma ruptura com a institucionalidade do conhecimento cristão da Europa medieval, baseado na filosofia aristotélica e exemplificado por Tomás de Aquino (1225-1274) e pela Escolástica, que tornou áreas de investigação empírica, como a anatomia, um domínio de disputa teológica. Na síntese Aristotélico-Tomista, o coração era a sede da inteligência e sensação; desafiar o cardiocentrismo era o mesmo que desafiar a visão de mundo cristã. Os médicos, embora soubessem que os nervos partiam do cérebro, acomodavam o dogma localizando as funções mentais nos ventrículos (espaços vazios), tratando a massa cerebral apenas como um órgão que refinava os espíritos vitais vindos do coração (a verdadeira fonte da vida). O cerebralismo, ao transferir a mente do 'vazio' dos ventrículos para a substância do córtex, transformou a alma em um produto da carne, o que soava como uma heresia materialista. O controle da Escolástica sobre a anatomia foi afrouxada gradualmente pela escola médica de Bolonha, que retomou a dissecação de cadáveres humanos no século XIV, criminosos mortos por decapitação ou enforcamento, transformando-os em recurso pedagógico para a formação médica (COBB, 2020).

prevaleceria uma crença no dualismo entre mente e matéria, algo que as neurociências tentaram dissolver.³⁵ No entanto, paradoxalmente, elas acabam incorporando elementos não-científicos, dentro de um horizonte secular de busca pela objetividade e de uma teoria geral, que sirva de base para um novo modelo de civilização sanitizado, com hábitos ótimos e promoção da performance corporal.

O impacto das neurotecnologias na gestão do "*self*" e saúde é especialmente significativo nas sociedades liberais, centradas na abordagem utilitarista voltada o desempenho. Esse cenário caracteriza uma ideologia na qual grupos sociais privilegiados podem explorar plenamente as tecnologias para autoaperfeiçoamento. Contudo, trata-se de uma transformação heterogênea, restrita a contextos e segmentos determinados, praticamente inacessíveis para as classes trabalhadoras empobrecidas, frequentemente apartadas das revoluções tecnológicas. Portanto, as neurociências contribuem para um cenário complexo e multifacetado, com impactos atrelados a uma desigualdade estrutural, que está numa crescente. Sua influência é singular por abordar um domínio especialmente sensível, o cérebro humano. Embora aspirem à precisão máxima, continuam enfrentando limites técnicos e éticos significativos, tornando as promessas distantes da realidade da maioria das pessoas, que as conhecem mais como objetos ficcionais do que tecnologias médicas disponíveis. A assimetria no acesso se manifesta numa fecundidade restrita aos contextos de "elite" e de uma significância distante, quando não inalcançável.

O aspecto distintivo das neurociências reside na investigação dos mecanismos neurais subjacentes à consciência e existência concreta das pessoas, criando uma dialética forte entre valores sociais e cognitivos. Ao descrever o funcionamento cerebral, influenciam a percepção social e os critérios éticos relacionados à saúde mental e processos de identificação. Nesse contexto, o que Rose e Abi-Rached (2013) chamam de "materialismo renovado" é semelhante ao "cerebralismo" de Vidal e Ortega (2017). Ambas as perspectivas articulam unidades cerebrais individuais a fenômenos emergentes. Explicações baseadas em conceitos transcendentais, como alma, são substituídas por interpretações materialistas, em que a racionalidade é vista como resultado evolutivo das redes ou populações neurais, junto com as

³⁵ René Descartes (1596-1650) em "*Discourse on the Method of Rightly Conducting One's Reason and of Seeking Truth in the Sciences*" (2009) buscou demonstrar que o dualismo entre mente e corpo é uma conclusão racional derivada da investigação filosófica, baseada na dúvida metódica, que afirma a possibilidade do conhecimento verdadeiro, e aponta para a separação entre substância pensante (*res cogitans*) e substância extensa (*res extensa*). A dúvida pressupõe um ser, o qual não pode ser duvidado, essência do "eu", indivisível, distinta do corpo que funciona como um autômato, divisível. Da substância pensável Descartes deriva a liberdade, linguagem e moral, que separa os humanos dos animais, por mais complexos que sejam.

suas propriedades plásticas. Azize (2010) esclarece esse ponto ao afirmar que o discurso neurocientífico rejeita o dualismo cartesiano, base da noção ocidental de pessoa, porém radicaliza valores modernos de singularidade, autonomia e individualismo. Nesse sentido, melhorar o cérebro, torná-lo produtivo, torna-se sinônimo de progresso social e pessoal. A rejeição da transcendência é característica central das neurociências e das demais ciências desde Descartes. Contudo, a lógica dualista mente-corpo não é mais sustentável empiricamente. As neurociências propõem, ainda que potencialmente, uma integração das ciências naturais e humanas sob uma agenda comum, articulada por um materialismo renovado. Identidade, pertencimento, gênero e violência – entre outros problemas coletivos – podem ser discutidos a partir dessa perspectiva, explicitando como o conhecimento da biologia influencia diretamente a epistemologia das humanidades. O conhecimento sobre as redes neurais revelaria as condições necessárias da existência inteligente e racional, descolando o conhecimento sobre o que ocorre na intimidade da carne e da mente, acrescentando um nível mais profundo de detalhe, adequado para a construção de hipóteses com repercussões na teoria da evolução e cultura. A fixação nos detalhes do cérebro e a busca por simulações cada vez mais precisas apoiam-se na expectativa de que argumentos abstratos sejam qualificados e integrados empiricamente. Contudo, na prática, elementos do dualismo persistem nas concepções de "eu" ou "*self*" como entidade não totalmente redutível ao corpo. Nesse ponto, o próprio processo de racionalização se mostra incompleto. A cultura do século XXI está longe de ser um todo desencantado que dispensa considerações imateriais sobre a existência.

Apesar de tensionar noções monistas e essencialistas do humano, a neurociência admite a utilidade dessas ideias como epifenômenos da evolução. A racionalidade não é uma substância imaterial e sim uma capacidade emergente decisiva que alcançou o seu ápice com a espécie humana há poucos milhares de anos. A percepção de que haveria uma alma ou um eu pensante imaterial, apesar de superficial ou enganosa à luz do conhecimento empírico, desempenhou uma função social importante, para a sobrevivência coletiva e cuidado mútuo. Esse ponto é axial.

A especificidade do humano, como ente biológico, não é definido pelo recurso a um conceito metafísico, ou demonstrada pela engenhosidade da razão. É entendido pelo conhecimento material de suas partes e funções, advindo da experimentação, a luz do que elas desempenham na história evolutiva. Aqui, o passado longínquo e o presente em curso se entrecruzam, adquirem uma significância compartilhada, candidata a conhecimento de validade universal.

O materialismo também não implica um determinismo reducionista. Ao estabelecer correlações entre padrões neurais e comportamentos específicos, as neurociências reconhecem que a generalização é um trabalho difícil, que exige comprometimento com a experimentação, protocolos padronizados, grupos de pesquisa, infraestrutura adequada. Ademais, no tocante às faculdades cognitivas complexas e elevadas, como a inteligência, diferenças individuais e influências ambientais são fatores relevantes; já os instrumentos para o registro da atividade cerebral e sua computação, mesmo com os avanços inegáveis no contexto laboratorial e da medicina diagnóstica, são pouco acessíveis. O impacto das neurotecnologias é sobretudo potencial, como uma visão de futuro, um imaginário sociotécnico. Contudo, é importante lembrar que o controle sobre a natureza não deriva automaticamente do conhecimento sistemático (a ciência), também exige o controle das especulações sobre o que está indeterminado de um ponto de vista sociotécnico.

Com os avanços tecnológicos, tornou-se possível observar e simular o cérebro vivo com precisão, feito-base para coproduzir imaginários que dizem algo de relevante sobre o sujeito, frequentemente um paciente – adendo: a implementação via mercado para usuários “normais” ou “saúdáveis” é incipiente e contestada. As simulações decorrentes são hiper-realistas, buscam simular com fidelidade as conexões e funções elementares do cérebro para desvendar as relações dinâmicas do corpo com o ambiente, além de ampliar a compreensão material e subjetiva da vida.³⁶ O acesso à instrumentos avançados da medicina diagnóstica e pesquisa de ponta, como Imagem por Ressonância Magnética Funcional (fMRI – *functional Magnetic Resonance Imaging*), se confundem com os critérios cognitivos de avaliação. Simulação hiper-realista se correlaciona com conhecimento de excelência e, de um ponto de vista institucional, demonstra capacidade de tradução e reputação acadêmica.

³⁶ Algo que se assemelha ao avanço do campo da genômica, com o desenvolvimento de máquinas mais rápidas de sequenciamento de DNA/RNA, que hoje servem de base para serviços digitais que estão reconfigurando a percepção sobre ancestralidade e risco genético. Marcelo Leite na sua tese pioneira “*Biologia Total: hegemonia e informação no genoma humano*” (2005) argumenta que o discurso da genômica se apropriou de metáforas da cibernética, reconstituindo, de modo performativo, a natureza e os genes como informação manipulável – código ou programa. Enquanto informação, os genes são uma entidade sintática, móvel e virtual, passível de ser apropriada como recurso; enquanto código, pressupõe um desenvolvimento linear e determinista, os genes levam a síntese de proteínas que, por sua vez, expressam uma função; enquanto performance, os genes podem ser decifrados, manipulados, editados, copiados e catalogados, em suma tornados objetos da tecnociência como dados digitais (abstratos, desmaterializados), que circulam como mercadorias e coproduzem uma infraestrutura especializada, feita de máquinas, softwares, disciplinas (particularmente a bioinformática) e empresas. Leite (Ibid.) critica a persistência, apesar dos resultados empíricos contrários da genômica, muito mais complexos, das metáforas informacionais, e a marginalização de abordagens alternativas, como a Biologia de Sistemas, que dá maior enfoque na interação gene-ambiente.

Se o eu é uma propriedade emergente, um epifenômeno, se as simulações mais poderosas são cada vez mais semelhantes as redes neurais subjacentes, gerando dados que se aproximam da realidade, do cérebro vivo, por ganho incrementais ou saltos tecnológicos, então são os indícios de materialização do desenvolvimento do organismo e das relações de adaptação com o ambiente que importam. A verdade científica é móvel e está condicionada pela instrumentalização e conhecimento mais atual. Trata-se de um feito sociotécnico: simultaneamente a aquisição de sinais e a computação, de milhões de neurônios, a produção de “*connectomes*” (Imagem 3, a seguir), de mapas que revelem a biologia necessária para a experiência humana, a conexão dela com a estrutura de outros mamíferos, particularmente primatas, o conhecimento preciso e os caminhos para a intervenção médica.



Imagem 3: Connectome de um cérebro humano.

Fonte: WILLIAMS, 2010, p.238.

A partir da década de 2010, grandes projetos como o *BRAIN Initiative* (EUA) e o *Human Brain Project* (Europa) ampliaram o esforço por imagens de alta resolução do cérebro vivo em tempo real (ROSE; ROSE, 2016). Essas iniciativas, além de avançar no conhecimento empírico, promoveram uma agenda prática de aproximação entre universidades e empresas, um impulso de passagem da pesquisa para soluções em instrumentos médicos. Esses projetos possibilitaram novas hipóteses e experimentações, relatos da correlação entre redes neurais e comportamentos, fortalecendo a abordagem materialista para a elucidação de manifestações de grande complexidade, como memórias (Imagem 4, a seguir), sentimentos, inteligência, laços sociais,

identidade, liberdade – a lista é longa. Apesar de considerados prioritários, tais megaprojetos foram contestados em razão da representação computacional que subscrevem e do objetivo atrelado de simular digitalmente o cérebro através de uma abordagem fundada na força bruta, uma combinação de *big data* e supercomputadores (CICUREL; NICOLELIS, 2015).

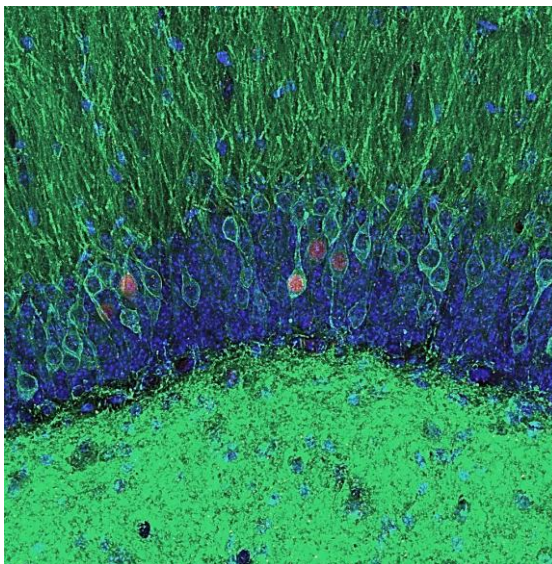


Imagem 4: A Intersecção de Memória e Memória: Duas memórias capturadas sob o microscópio.
Fonte: Stephanie Grella, 2022.

Tais projetos posicionaram as neurociências numa crescente, apontando para um futuro em que serão cada vez mais instrumentais na identificação dos padrões cerebrais necessários para uma vida ajustada, em contraposição a aqueles que geram transtornos e doenças. Robinson (2019) destaca que tais simulações, de inegável utilidade médica, possuem implicações científicas importantes, primeiro deslocam o tratamento dos sintomas para as causas e lançam luz sobre a evolução. O objeto de análise, feito de populações ou redes neurais, sinapses, *spikes* e química subjacente, se estabilizou e é valioso por viabilizar a conexão entre problemáticas diversas numa narrativa científica coerente e replicável. Os estudos com modelos animais, ratos, porcos e primatas, são fundamentais e fornecem uma janela para a história compartilhada da vida no planeta terra. Fala-se de populações de neurônios que foram selecionadas pela evolução, que estão correlacionadas, em diferentes graus, com um dado comportamento ou manifestação de padrões de ativação estatisticamente significativos, de características compartilhadas.³⁷

³⁷ A extrapolação dos resultados obtidos com outros animais para humanos enfrenta desafios importantes devido às particularidades biológicas e éticas. A pesquisa com animais é um passo necessário para o amadurecimento dos protocolos experimentais, a padronização dos esforços e validação da segurança das intervenções médicas, antes de envolver voluntários humanos. Eticamente o que separa um humano de um macaco é o estatuto da interioridade reconhecida – um self social. Não se pode restringir a liberdade ou sacrificar uma pessoa em nome da ciência, mas

Ao buscar explicações empíricas para fenômenos complexos, as neurociências reconfiguram conceitos, identidade é um bom exemplo, conhecidos pela carga abstrata, nivelando-os num âmbito materialista e pragmático. Com isso, coproduzem um *continuum* entre unidades, sistema nervoso, corpo e experiência vivida, que atravessam diferentes escalas e tecidos, viabilizam um compromisso “cartográfico global”, que nas palavras de Russo e Ponciano (2002) é:

(...) capaz de ajustar continuamente o comportamento, independentemente dos sinais sensoriais. Ao contrário do que pensamos comumente, a atividade sensório-motora depende da “cartografia global”, que seleciona os grupos neuronais e ajusta o comportamento. A definição de um comportamento adequado é, portanto, um critério exclusivamente interno. Um mecanismo semelhante à seleção natural darwiniana faz com que grupos de neurônios morram, sobrevivam ou sejam fortalecidos. O nível principal em que a seleção natural ocorre encontra-se no indivíduo, devido às suas conexões neuronais, com consequências em seu comportamento. (p.358.)

Trata-se de um compromisso que coproduz uma identidade híbrida. Ao mesmo tempo que se assume tacitamente que o cérebro humano possui potências que o diferenciam das outras espécies, produzindo um grau de autoconsciência e complexidade não observado em qualquer outra, também se admite que sua composição estrutural e funcional é mais ou menos semelhante à de outros animais, em graus variados. Ou seja, tal cartografia não leva a demonstração de uma essência humana. Os contornos desses mapas são incompatíveis com a ordem antropocêntrica que caracterizou o projeto moderno e constitui mais um passo no sentido de explicitar o que há de profano. A engenhosidade do materialismo tem sido desafiar a excepcionalidade do humano no plano da natureza, porém essa estratégia é frequentemente cega para os valores orientadores, assumindo o controle como uma vocação inerente do conhecimento.

Há uma circularidade no argumento de legitimação das neurociências, calcado na nobreza do objeto de estudo, uma espécie de resquício de positivismo e tradição disciplinar – algo que não é particular delas, outras ciências mobilizam este tipo de apelo: a astronomia é importante porque estuda o universo, a física as suas leis, a sociologia a sociedade etc. As disciplinas reivindicam para seus objetivos um estatuto especial de significação fundado na natureza das coisas. No caso das neurociências, são relevantes porque tratam do cérebro e seus mistérios, ponto. Sem tal órgão não há vida inteligente, não há conhecimento, portanto, na hierarquia das

uma cobaia sim. Uma passagem do livro “*The Human Advantage*” (2016) da neurocientista brasileira, Suzana Herculano-Houzel, é particularmente ilustrativa: “‘Não os animais,’ minha mãe protestou. ‘Que coisa horrível fazer, terminar suas vidas.’ Bem, considerando que todos morrem no final, e que alternativa para estes animais em particular teria sido morrer de mortes horríveis, sangrentas, dolorosas na natureza sendo devorados vivos por leões e leopardos, acho que morrer de morte indolor, de overdose de anestésico, foi na verdade não tão ruim” (Capítulo 3, posição 16 do *ebook*. Tradução livre).

ciências, ocupam um lugar superior. Contudo, o apelo ao objeto não é por si só suficiente, é preciso viabilizar o acesso, dispor de uma infraestrutura em atualização constante, redes e instituições dedicadas a circulação de pessoas e conhecimento, que estão situadas na história e economia política. A análise revela que meio a heterogeneidade, as neurociências formam um campo articulado, com pontos importantes de convergência sobre o estatuto empírico da dimensão neural, combinando ontologias e instrumentos de visibilidade diversos. Por exemplo, o localizacionismo, mesmo que parcialmente refutado, persiste por oferecer a vantagem pragmática de tornar inteligível a relação entre função e estrutura cerebral, enquanto o conectivismo – principalmente o exemplificado pelo conectoma ou teoria dos campos eletromagnéticos – é em larga medida inacessível e elitista, por exigir máquinas caras e muitos dados, ou especulativas, sem instrumentos de medição padronizados. É muito mais fácil um cientista ou médico ver a lesão num local associado com uma função do que uma falha na rede neural ou campo eletromagnético. A visão bioquímica da causação da comunicação sináptica é dominante, contudo a eletrofisiologia continua sendo uma abordagem válida de experimentação e diagnóstico – um olhar sistêmico e temporal para ativação neural.

Na subseção que se segue são apresentadas três padrões nas dinâmicas de transformação do materialismo, a partir de suas tensões internas. O primeiro diz respeito à unidade de análise, a passagem das áreas cerebrais, especializadas e neurônios individuais para o conectivismo, das redes e campos. O segundo fala sobre a relação razão e emoção, a superação parcial do dualismo cartesiano por uma concepção somática e integrada entre mente e corpo. O último fala das tecnologias de observação e suas concepções do cérebro. Em cada transformação, valores articulam-se em configurações que atualizaram o materialismo, renovando-o no plano epistêmico e ético.

4.2. Transformações paradigmáticas

4.2.1. *Localizacionismo e Conectivismo*

De um ponto de vista científico, uma das principais transformações é a passagem do paradigma “localizacionista”, dominante até o século XX, para o “conectivista”, emergente. Antes falava-se de unidades discretas, neurônios e regiões altamente especializadas, depois padrões relacionais, redes e campos. O primeiro remonta a frenologia de Franz Joseph Gall

(1758-1828), o esforço de identificar a relação entre função e estrutura anatômica e de contextualizá-la na história evolutiva.³⁸

A consolidação do neurônio como unidade exigiu a resolução de uma disputa fundacional entre Camillo Golgi (1843-1926) e Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) na virada para o século XX, particularmente uma diferença fundamental no olhar. Ambos usaram a mesma técnica de coloração de tecidos para estudar a estrutura dos neurônios, inventada por Golgi, chamada de “*reação negra*”. Onde Golgi via continuidade, fibras ininterruptas (doutrina reticular), Cajal via células discretas e hiatos (doutrina do neurônio) – batizados por Chales Sherrington (1857-1952) de sinapses. Tanto Golgi quanto Cajal foram agraciados pelo prêmio Nobel de 1906 numa cerimônia que entrou na história pelos ataques mútuos. A confirmação da fenda, refutando o reticularismo, veio nos anos 1950 pela microscopia eletrônica que tornou concebível a teoria de uma arquitetura cerebral plástica – se o sistema nervoso fosse um contínuo não haveria conexões a fortalecer ou enfraquecer e sim um fluxo difuso e multidirecional.

O segundo paradigma, o conectivismo, ganha tração com a abordagem conectômica, interessada na elaboração de “diagramas de fiação” ou “topografias-arquiteturas das conexões sinápticas”, um paradigma da complexidade que remonta as pesquisas dos biólogos John White e Sydey Brenner nos anos 1980 com o verme *C. elegans* – o primeiro animal a ter sua topografia neural mapeada completamente – que desde os anos 2010 exemplifica a transição da neurociência para os projetos de *Big Science*, análogos a física e exploração espacial (SEUNG, 2012; COBB, 2020). Há outras teorias que disputam a posição de saída epistemológica para o problema de complexidade que o conectivismo envolve. O neurocientista brasileiro, Miguel Nicolelis junto com Ronald Cicurel (2015) argumentam que o sistema nervoso forma um campo contínuo, um espaço mental analógico em que as experiências “curvam” a percepção do vivente, resultando no fenômeno da plasticidade neural, separando o cérebro dos computadores digitais.³⁹ O cérebro para processar informações e manifestar

³⁸ As primeiras refutações parciais ao localismo decorrem dos experimentos de Marie Jean Pierre Flourens (1794-1867) que removeu cirurgicamente diferentes pares do cérebro de animais (aves, répteis, anfíbios) e registrou o impacto dessas subtrações na manifestação de funções. Flourens argumentou que a localização das funções não são tão específicas, não há órgãos corticais para faculdades distintas, tais como as que Gall postulou com base na observação do crânio, e sim um córtex especializado e indivisível (COBB, 2020). Luiz Pessoa (2022) apresenta um balanço recente das críticas ao localismo, apontando para a multifuncionalidade das áreas do cérebro, um modelo de heterogeneidade e não de especialização estrita, fundado em observações funcionais do cérebro (fMRI). Seung (2012) endereça a mesma crítica, funções mentais requerem cooperação entre múltiplas áreas, e argumenta que a microscopia eletrônica combinada com inteligência artificial constituem a base da revolução tecnológica atual.

³⁹ Plasticidade se refere a processos de reorganização neural através de interações dinâmicas entre fatores genéticos e ambientais ao longo da vida, necessários para a emergência de mecanismos ajustados para demandas

funções precisa curvar esse espaço, já os computadores não, a eletrônica é estática e lógica separada do meio físico. Por essa razão, não haveria nenhum código neural a ser revelado pela ciência e sim ciclos recursivos. Diferentemente da abordagem do conectoma, na qual a unidade de análise ainda é discreta, o grafo de conexões, os autores (Ibid.) se concentram na continuidade, na geração de campos eletromagnéticos que induzem o disparo neural de modo sincronizado e distribuído, coordenando o cérebro.⁴⁰ Os críticos do localizacionismo reconhecem a importância da anatomia e distribuição espacial-especializada, a tensão provocada está no peso atribuído a ela e na provisoriedade das teorias alternativas – Seung e Nicolelis, por exemplo, trabalham em enquadramentos distintos para explicar a multifuncionalidade-conectividade das áreas cerebrais. Ou seja, não há um consenso sobre qual conceitualização é a melhor candidata a substituir o localismo até o presente momento.

4.2.2. Integração da Razão com a Emoção

Se o self acontece no cérebro, de modo que a reconstituição técnica das manifestações complexas como emoção, memória e inteligência implicam processos neurológicos subjacentes, por óbvio o vocabulário psicológico absorveria as neurociências como uma fonte legítima de conhecimento, junto com o materialismo característico delas – a versão do materialismo, se localista e em que grau, ou os diferentes sabores do conectivismo, constitui uma questão secundária. Nos primórdios a preocupação com a matéria foi absorvida sob uma lente mecanicista, um reducionismo, porém o materialismo atual transcende a determinação biológica, seja genética ou neurológica, em favor de uma lógica desenvolvimentista que opera pela estabilização seletiva, ainda inteiramente naturalista e concentrada nos padrões iterativos

comportamentais e nichos ecológicos e funções cognitivas superiores ligadas a aprendizagem. Não é uma característica exclusiva dos mamíferos ou vertebrados, mas uma propriedade pervasiva dos sistemas nervosos, cada linhagem da vida desenvolveu mecanismos específicos (HERCULANO-HOUZEL, 2016). A visão plástica do cérebro não equaciona a complexidade neural com a informação genética, apesar de determinantes para a topografia geral do cérebro, ela coloca maior ênfase no desenvolvimento, aleatoriedade e experiência, na emergência que sugere auto-organização. Na abordagem dos conectomas, descrita por Seung (2012) a plasticidade é conceitualizada por quatro mecanismos, do mais imediato, volátil e reversível para o mais lento, estrutural e permanente: *reweighting* (alteração de forças sináptica); *reconnection* (criação e eliminação de sinapses); *rewiring* (crescimento e retração de ramos neuronais); *regeneration* (neurogênese).

⁴⁰ Num sentido semelhante ao dos ciclos recursivos de Nicolelis e Cicurel, o filósofo Andy Clark (2023) argumenta que a unidade de análise é o *loop* entre circuitos, a coordenação estreita entre áreas, e desafia a visão de evolução que postula a dominância do neocórtex – uma ideia de superioridade e inferioridade entre circuitos subcorticais. Clark (Ibid.) aponta que o córtex não é um recém-chegado, mas parte fundamental da evolução dos mamíferos, num *loop* de alto nível que se desdobrou numa maquinária preditiva através de uma reorganização da arquitetura e não um incremento linear. Outros mamíferos estimam a confiabilidade de suas ações, são capazes de atenção, a diferença é que entre os humanos esse mecanismo foi fortemente favorecido, pois a regulação do humano com o ambiente é fundamentalmente outra, envolve a construção social e comunicativa de um mundo futuro.

entre os componentes mínimos (a plasticidade cerebral) e na capacidade de representá-los de modo preciso (CHANGEUX, 1985).⁴¹

A subordinação da psique ao cérebro é uma ideia antiga, presente no século XVIII e de forma exemplar na publicação de “*L’Homme machine*” (1748) de Julien Offray de La Mettrie (1709-1751), conhecida por ter aterrado o conceito de alma na função material do cérebro capaz de pensar (COBB, 2020). Antônio Damásio, neurocientista português, desenvolveu no clássico “*Descartes’ Error*” (1994) uma crítica contundente ao pensamento filosófico iluminista mecanicista que suprimiu o corpo em pró de uma racionalidade limpa das emoções – então elaboradas como resíduos a serem suprimidos. A hipótese de Damásio vai no sentido de uma relação constituinte entre os estados corporais-somáticos com a razão, essencial para a deliberação e planejamento do futuro, que se manifesta como intuição consciente, uma materialização composta de causação social, biológica, existencial e médica nos substratos neurais.⁴²

Cada uma das variações da estratégia materialista, seja o reducionismo ou formas mais sofisticadas, que reconhecem a existência de múltiplos níveis de descrição (bioquímica, elétrica, áreas, redes e campos), incorpora pressupostos sobre a fronteira entre conhecimento científico e valores sociais, particularmente o controle sobre a natureza. Isto é: a coprodução das condições de visibilidade e manipulação através de dispositivos e instrumentos médicos que alcançam os objetos e transcendem os limites sensoriais humanos.

4.2.3. A coprodução da visibilidade

Na história recente, sob um horizonte tecnológico, nota-se duas fases: *elétrica vs. química, funcional e computacional*. Cada uma delas materializa uma concepção do cérebro que

⁴¹ Paul Ricoeur (1913-2005) resistiu à insistência naturalista, o filósofo reconhece a correlação entre mente e substratos neurobiológicos, mas crítica a facilidade que os neurocientistas passam do neuronal ao mental, particularmente a redução explicativa que omite o uso cotidiano do discurso mentalista, fenomenologicamente demonstrado. O substrato não é causa suficiente e sim necessária do sentido, em parte irreduzível à física (CHANGEUX; RICOEUR, 2000). Andy Clark (2023), outro filósofo, aponta que o materialismo atual das neurociências dissolve a fronteira entre mental e corporal, a experiência do vivente adentra ao pensamento como parte do orçamento corporal do cérebro, nada ocorre fora dele. Em outras palavras, razão e emoção são fenômenos integrados ao corpo, tentativas preditivas do cérebro que usam tudo o que sabe do ambiente e sociedade num mesmo processo constitutivo.

⁴² Iván Izquierdo (1937-2021), neurocientista argentino e naturalizado brasileiro, questiona em “*A Arte de Esquecer*” (2010) a concepção da razão como uma competência unidimensional e total, ao elaborar a função produtiva do esquecimento para a aprendizagem de tipo superior (generalização e pensamento abstrato), tratar-se-ia mais de um processo ativo do que ausência passiva, com implicações profundas na psique e suas manifestações corporais e linguísticas. O esquecimento, sob essa lógica, não é falha mas mecanismo produtivo para a modulação e plasticidade do cérebro.

manifesta, epistemologicamente e socialmente, as capacidades e limites dos instrumentos de observação e mediação. A coprodução implica que o desejo de acessar o cérebro, os dados e parâmetros técnicos adotados são fatores de um todo indivisível, fazem sentido pois estão mútua relação. Não haveria “cerebralismo” sem uma concepção ao mesmo tempo elétrica, bioquímica, fisiológica, imagética, quantificável e algorítmica do cérebro.

O antecedentes da primeira fase, no seu ramo elétrico, remontam a filosofia natural setecentista e os experimentos de Luigi Galvani (1731-1798) sobre eletrofisiologia. O estilo de observação decorrente se concentrou nas correntes elétricas e propriedades musculares e anatômicas como uma janela para o sistema nervoso, padrão que atravessou todo o século XIX, com destaque para a mensuração em 1849 da velocidade do impulso nervoso, aproximadamente 30 metros por segundo, por Hermann von Helmholtz (1821-1894) pelo registro cronométrico das contrações musculares – o modelo animal dessas pesquisas foram sapos e rãs (COBB, 2020).

Já no início do século XX a controvérsia sobre a dominância da eletricidade ou da química ganha forma através das pesquisas de Henry Hallet Dale (1875-1968) e Wilhelm Feldberg (1900-1993) sobre o papel da acetilcolina na neurotransmissão, um esforço que resultou numa série de experimentações e artigos entre 1933 e 1936 e a premiação de Dale ao Nobel em 1936, contudo houve resistência contra essa agenda, muitos pares consideravam, erroneamente, a transmissão química lenta (VALENSTEIN, 2005).

Também na primeira metade do século XX, houve avanços na experimentação elétrica, particularmente o eletroencefalograma (EEG), inicialmente um galvanômetro acoplado num amplificador, desenvolvido nos anos 1920 por Hans Berger (1873-1941), um *outsider* que levou a uma ruptura com a citologia, muito influente entre os neurofisiologistas, que resistiram a inovação por considerá-la cientificamente ingênua e pouco precisa. Com o EEG o cérebro deixou de ser concebido apenas como agregado de células para um sistema, com ritmo próprios e adentrou a clínica pelo trabalho do britânico Edgar Douglas Adrian (1889-1977) como um instrumento para a localização de tumores, que apesar de silenciosos, afetam a atividade elétrica da área circundante, desacelerando-a, produzindo ondas desorganizadas e lentas, além de assimetrias de atividade entre os hemisférios cerebrais (BORCK, 2018). A invenção do EEG foi um reforço para o paradigma elétrico, mesmo enquanto a química ganhava a batalha das sinapses – unidade essencial da neurociência emergente.

Como se não bastasse a divisão da comunidade científica entre os adeptos da doutrina reticular e da doutrina do neurônio, entre os anos 1930 e 1960 se aprofundou uma outra fratura, dessa vez entre os “sopas”, farmacologistas defensores da transmissão química e os “faíscas”, eletrofisiologistas convictos do salto da corrente de ação entre neurônios. Porém, tanto sopas quanto faíscas eram adeptos da teoria neuronal, já que na reticular não haveria transmissão a ser explicada nas fendas. O paradigma químico saiu vencedor quando, nos anos 1950, John Eccles (1903-1997), pupilo de Charles Sherrington, aquele que criou o termo sinapse, tentou provar que a inibição era elétrica mas chegou a resultados que falseavam essa hipótese, apoiando, ao contrário, a dominância da neurotransmissão química, além da revelação na mesma década das vesículas sinápticas nas pontas dos nervos por estudos com microscópio eletrônico. Desde então a eletricidade depende da neurotransmissão química como principal etapa intermediária, sinapses elétricas ocorrem onde a sincronia é vital, como nos batimentos cardíacos e coordenação motora, mas não são a base da memória e aprendizado. A abordagem farmacológica nas neurociências venceu a dos eletrofisiologistas e viabilizou a entrada da indústria médica na psicofarmacologia (VALENSTEIN, 2005).

Já em meados dos anos 1970, o campo transitou para as imagens funcionais. Seja com o uso de traçadores radioativos, radiofármacos como isótopos para mensurar o metabolismo cerebral no caso da Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) ou campos magnéticos, no caso da Ressonância Magnética Funcional (fMRI), que mensura a oxigenação – áreas pobres em oxigênio são paramagnéticas, interagem com os campos e ricas são diamagnéticas, não distorcem o campo. Tais instrumentos não geram “fotografias”, exigem a transformação dos sinais numéricos sobre a concentração de radioatividade ou nível de oxigenação em mapas coloridos que representam as funções bioquímicas e fisiológicas do cérebro. É nesse momento histórico que emerge o imaginário de que tais instrumentos são uma janela direta para o cérebro, possibilitando a correlação entre fluxos e processos cognitivos específicos (DUMIT, 2004). Dos anos 2000 em diante, é caracterizada pela intensidade do uso dos modelos matemáticos e computacionais para processar os dados cerebrais, de modo a aperfeiçoar a resolução espacial, temporal e de sinal por algoritmos capazes de, além do intenso processamento estatístico, *decompor sinais* (gama, beta, alpha, theta, delta), *interagir* (construção das imagens num ciclo de estimativa, simulação, comparação e refinamento), *corrigir artefatos* (movimentos do corpo), *filtrar ruídos* (como provenientes da rede elétrica) e *combinação de dados provenientes*

de diferentes instrumentos (PET mais fMRI).⁴³ Com isso, estreitou-se a coprodução entre realidade e engenharia de software para visibilizar os padrões de atividade cerebral, bioquímica e elétrica, das populações de neurônios, viabilizando a intervenção corretiva dos “desvios” (OP DE BEECK, NAKATANI, 2019).

4.3. Indeterminação ontológica – situando os dispositivos neurais

Importa lembrar que a pesquisa nas “fronteiras do conhecimento” não é intrinsecamente mais livre ou menos protocolar do que pesquisas incrementais ou de rotina. O controle dos riscos associados à experimentação constitui um problema antes mesmo de se especular sobre a viabilidade técnica dos resultados pretendidos. Idealmente a trajetória de uma tecnologia médica, tal como os instrumentos mencionados anteriormente (PET e fMRI), depende de uma equação positiva para os benefícios, particularmente segurança ou não-maleficência. A pesquisa na fronteira, ao fazer multiplicar os riscos, exige estratégias de controle reforçadas, que são como compensações de aspectos indeterminados, que podem ou não ser estabilizados por inovações radicalmente novas, “*diruptivas*”. Paradoxalmente, a estabilização delas pode engendrar efeitos desagregadores nas relações sociais. Geralmente, a equação positiva, o controle dos riscos e da indeterminação, é excepcional e restrito ao ambiente laboratorial – não faz sentido ter maquinários tão sofisticados quando um PET e fMRI em casa.

No desenvolvimento das neurotecnologias há todo um campo de situações imprevistas ou indesejadas que são denominadas de “*artefatos*” ou “*ruídos*”. A pesquisa na fronteira implica a existência de fatores externos ao controle, que devem ser enquadrados por procedimentos que os tornem úteis, como fontes de conhecimento produtivo, de novos paradigmas, ou entes neutralizados, incapazes de desestabilizar as estratégias vigentes, como um outro epistemologicamente inofensivo e incapaz de comprometer a qualidade e precisão da ciência experimental. No caso das neurotecnologias, esses artefatos podem ser de tipo cognitivo (falta de atenção e concentração na tarefa ou fadiga), fisiológica (contrações musculares, movimentos

⁴³ Até o final do século XX os instrumentos de neuroimagem (PET e fMRI) exigiam, por padrão, protocolos subtrativos para identificar a atividade cerebral relevante, geralmente o estado associado a resolução de uma tarefa, diferenciando-o do estado de controle ou repouso. Tal suposição foi desafiada no início dos anos 2000 por Marcus Raichle e colegas numa série de publicações em que destacaram em seus dados de PET que certas áreas do cérebro apresentavam uma diminuição da atividade durante as tarefas exigidas pelos experimentos implicando que, no repouso, estavam mais ativas. Raichle rotulou esse conjunto de Rede de Modo Padrão (DMN) e propuseram que o maior gasto metabólico do cérebro corresponde a essa atividade, uma ideia que enfrentou ceticismo imediato. Alexa Morcom e Paul Fletcher (2007) argumentaram que considerar tal estado resultaria em experimentos falhos do ponto de vista do controle, já que um sujeito no scanner pode estar ansioso, pensando no jantar, com sono ou revisitando o passado. Apesar das críticas, essa ideia resultou num programa de pesquisa replicado por outros neurocientistas, particularmente no contexto de grupos como crianças, pacientes com Alzheimer ou em coma, como uma lente para mapear a integridade das redes cerebrais.

involuntários), técnica (falhas de calibração dos instrumentos) ou ambiental (interferências eletromagnéticas). Nos experimentos com Interfaces Cérebro-Computador, que usam EEG na aquisição de sinais, os artefatos prejudicam a correlação entre ritmos cerebrais, intenção subjacente e por isso exigem técnicas de computação sofisticadas para a filtragem e isolamento dos padrões relevantes, geralmente baseadas em aprendizado de máquina/ IA.

Os animais-cobaias e as pessoas-voluntárias, envolvidos na experimentação em ICC, são fontes intrínsecas de artefatos e ruídos – nem todo padrão de ativação é significativo para uma dada tarefa, na verdade, a maior parte não é – isso não significa que por não ser útil sejam desimportantes para a vida. O controle da indeterminação exige protocolos que configurem o cenário ideal de implementação, onde os fatores externos estão previstos e as medidas de compensação meticulosamente planejadas. Além disso, há um tipo de conduta esperada dos voluntários, como concentração e disciplina corporal, o que acaba por reforçar, na prática, um dualismo entre mente e corpo – o exercício da intencionalidade e racionalidade para a modulação exitosa dos padrões cerebrais, como o controle de uma prótese e repressão de movimentos com baixa significância, com o balanço de um membro, que revela ansiedade ou tédio.

Num nível subjetivo, da fenomenologia envolvida no uso das neurotecnologias, pesquisadores e voluntários podem atribuir sentidos a experiência vivida que desafiam o materialismo, atribuindo conotações metafísicas para um dado evento. Isso é muito comum no percurso terapêutico – vale lembrar, o paciente é uma pessoa, com crenças, frequentemente religiosas – em que o acesso a um serviço de saúde, destreza de uma equipe médica, participação num experimento ou melhoria no quadro clínico podem ser atribuídos a uma força transcendente, embora o que prevalece na prática experimental seja a purificação da interação cérebro-computador-ambiente de qualquer resquício metafísico pela instrumentalização tecnológica. Laura Mauldin (2014) dá um exemplo concreto de instrumentalização ao estudar o treinamento cerebral de crianças surdas usuárias de implantes cocleares, uma modalidade de neurotecnologia já difundida, de uso cotidiano. O sucesso do treinamento depende da disciplina rigorosa dos hábitos de comunicação da criança, pela supervisão dos cuidadores que devem instruir as crianças segundo um plano de intervenção que exclui a linguagem de sinais – algo que crianças surdas, ao acessar o tratamento, por vezes já dispõe do domínio. O cérebro plástico da criança deve ser direcionado para reconhecer os estímulos elétricos entregues pelo implante como sons compreensíveis, por isso deve-se coibir outros meios de comunicação. Segundo Mauldin (Ibid.):

Há um curioso fenômeno de neuroplasticidade contraditória ocorrendo. Por um lado, a neuroplasticidade é a base da implantação e do treinamento auditivo. O próprio princípio de que as conexões sinápticas podem ser construídas com a implantação de uma prótese combinada com exercícios cuidadosamente elaborados é exatamente o que dá aos pais a fé em serem capazes de criar vias auditivas no cérebro de seu filho, apesar de ele ser surdo. Mas, por outro lado, é uma plasticidade precária, até mesmo vulnerável. Essas vias neurais auditivas, ao que parece, estão sujeitas a ataques. O estímulo “errado” (linguagem visual) pode inviabilizar essas conexões sinápticas e, portanto, os pais são instruídos a não usar sinais por medo de causar danos futuros (neurais) ao filho. (p.145, tradução livre)

Essa precariedade reflete como os protocolos e práticas neurocientíficas estão ligados aos valores sociais e culturais mais amplos, incluindo a fé. Embora exista um viés utilitarista de otimização, eficiência e produtividade na gestão do *self* e na promoção da saúde, é importante situar o materialismo dentro de um mosaico mais amplo, incluindo a dimensão dos valores sob uma perspectiva sociológica e empiricamente curiosa, atenta as ambivalências e contradições. Em certos contextos, esses valores utilitaristas também se colocam a serviço da assistência e reabilitação, compondo um quadro complexo e multifacetado.

Entender o corpo e particularmente o cérebro significa descrevê-lo como um conjunto de inscrições híbridas legadas pela evolução. Essa condição desloca a concepção monista de individualidade para uma perspectiva expansiva, na qual o “eu” deixa de ser uma substância distinta e passa a ser entendido como resposta relacional e em constante negociação com o meio sociotécnico. Donna Haraway (2013) sintetiza essa virada ao afirmar que a patologia privilegiada do emergente universo “ciborgue” é o *estresse*:

Deve-se esperar que as estratégias de controle se concentrem nas condições de contorno e interfaces, nas taxas de fluxo através das fronteiras, não na integridade dos objetos naturais... Nenhum objeto, espaço ou corpo é sagrado em si mesmo; qualquer componente pode ser interfaceado com qualquer outro se o padrão for apropriado... A patologia privilegiada que afeta todos os tipos de componentes desse universo é o estresse. (p. 212)

O *estresse* não é apenas um estado fisiológico, mas princípio ecológico do biopoder: legitima intervenções contínuas sobre corpos, ambientes e coletividades, exigindo que a liberdade prometida pelos dispositivos seja sempre conquistada por meio de arquiteturas sofisticadas. A comunicação entre biologia e eletrônica – notadamente as ICCs, mas também os implantes cocleares – depende do filtro dos ruídos e estabilização dos sinais num interstício difícil, simultaneamente biológico e institucional, as vezes financiado por interesses militares e corporativos em atuar para capturar as possibilidades do ciborgue. Além da fé dos familiares, o mosaico pode incluir o desejo de criar um “super soldado”.

Nikolas Rose (2007) já havia notado que, ao reformular a agenda das ciências comportamentais, as neurociências deslocaram o ‘eu’ para o plano de um epifenômeno útil. A plasticidade, antes restrita à infância, torna-se um ‘apesar de’: diminui com a idade, mas nunca desaparece, pode ser instrumentalizada durante toda a vida. Também é uma manifestação suscetível, fronteira, passível de ser estimulada e conduzida segundo critérios externos. É o pressuposto sem o qual as neurociências atuais sequer seriam concebíveis, constitui um ponto central de ancoragem que atrela valores cognitivos e sociais em dinâmicas de reforço mútuo. Nos contextos centrais do capitalismo liberal avançado, Rose & Abi-Rached (2013) identificaram a difusão de uma ética somática que cultiva “economias da esperança”. Nesse horizonte, o “cerebralismo” de Vidal & Ortega (2017) opera como dispositivo normativo: preservar e otimizar o cérebro torna-se o imperativo que distingue sujeitos responsáveis dos sujeitos descuidados. O resultado é um mercado em que intervenções biomédicas são apresentadas como investimentos em capital biológico, o contexto atual de hibridização que redefine as concepções dessas sociedades liberais sobre o que conta como estresse. Essa lógica tem acentuado desigualdades. As elites educadas e consumidoras podem acessar tecnologias que servem para maior performance (remédios cognitivos, wearables neurais), enquanto os muitos que poderiam se beneficiar clinicamente delas ficam excluídos pelo alto custo de tratamento associado. A responsabilidade individual converte-se em competição. Estudantes saudáveis recorrem ao *doping* cognitivo para vagas disputadas nas universidades de elite; no plano militar, experimentos de integração IA-cérebro avançam com menos restrições, como o controle de drones, projetando uma convergência incipiente e politicamente sensível; empreendedores usam de neuroimagens para medir o desempenho cerebral e promover a produtividade.

Plasticidade, portanto, explica tanto a variação individual quanto legitima a intervenção técnica. Os registros cada vez mais granulares do cérebro, produzidos em protocolos clínicos, permitem identificar populações neuronais associadas às tarefas específicas e inferir seu valor evolutivo. Ao fazê-lo, as neurociências se habilitam a responder temas epistemologicamente desafiadores, antes sob a jurisdição da filosofia, convertendo-se em referência cultural e teórica. Não surpreende que, segundo Ortega & Vidal (2016): “Por um lado, no que diz respeito ao seu significado para a compreensão da cultura, os experimentos de imagem recuperam ao final o que colocaram no início, a saber, a noção de que a cultura tem “bases neurais”. Por outro lado, a retórica do espanto... reafirma uma atitude dualista.” (p. 979)

A persistência do dualismo, cérebro/pessoa, cultura/indivíduo, revela que a cartografia materialista reconfigura antagonismos ontológicos. Ao priorizar padrões de ativação, exige-se comprometimento: somos o que nosso cérebro faz e mudamos quando ele muda. Daí o interesse em processos de inscrição da memória. O “trauma” (ARREGUY, 2010) e o “reforço” (BARROS; ORTEGA, 2011) tornaram-se estandartes da pesquisa aplicada. Mapear como eventos se corporificam, seja pela marca negativa, seja pela fixação positiva, orienta o desenvolvimento de dispositivos neurais destinados a modular movimentos corporais, lembranças, emoções e comportamentos. É nesse ponto que as promessas de cura, melhoria e governança do *estresse* convergem, projetando no cérebro um novo campo de disputa por poder, cuidado e identidade.

Até meados da década de 1980 prevalecia nas ciências do cérebro a convicção de que após a infância e parte da juventude o órgão entrava num estado estacionário. Os neurônios degeneravam e os exercícios mentais poderiam, no máximo, retardar um declínio biológico e cognitivo inevitável. Tratava-se de um modelo estático e regressivo, marcado por forte determinismo e por uma mensagem de escassez. Os recursos neurais seriam raros, passageiros e deveriam ser, por isso, preservados. Esse paradigma foi contestado pela hipótese da plasticidade neural, segundo a qual o cérebro mantém, ao longo da vida, ampla capacidade de adaptação e reorganização, embora gradativamente reduzida pelo envelhecimento. Ao deslocar as fronteiras entre o tratável e o intratável, a plasticidade fomentou expectativas otimistas na prática médica, sobretudo promessas de tecnologias reabilitadoras outrora impensáveis (FREITAS-SILVA; ORTEGA, 2016).

Contudo, a genealogia dessa virada ultrapassa a substituição linear de paradigmas. Rose e Abi-Rached (2013) mostram que as neurodisciplinas instaladas nos anos 1960, primeiro nos EUA e no Reino Unido, emergiram em estreito diálogo com a psicologia comportamental e incorporaram a lógica molecular da psiquiatria do início do século XX – algo que se conecta a vitória dos sopas sobre a transmissão sináptica. Essa lógica, culminando na psicofarmacologia, pressupunha que toda patologia provinha de desequilíbrios bioquímicos corrigíveis por fármacos específicos. A promessa, porém, não se concretizou sem fracassos e nas últimas décadas a limitação do modelo farmacológico tornou-se ainda mais patente. Em 2010, Thomas Insel, então diretor do *National Institute for Mental Health*, lamentou: “Há muito poucas entidades moleculares, muito poucas novas ideias e quase nada que dê qualquer esperança para o tratamento de doenças mentais” (apud ROBINSON, 2019, p. 72). Diante desse impasse, a *Big Pharma* reduziu P&D interna em novas moléculas, transferindo riscos para o

setor público, especialmente universidades. Robinson (2019) descreve como esse arranjo consolida a neurociência translacional: equipes interdisciplinares, centradas em metas tecnológicas, trabalham sob financiamento público-privado. O conhecimento básico passa a valer na medida em que controla partes do organismo e promete resultados aplicáveis e eficácia torna-se sinônimo de relevância financeira. Consequentemente, universidades de ponta convertem-se em braços externos da *Big Pharma* e da *Medtech*, reforçando uma cultura de startups que reconfigura sociabilidades acadêmicas, na qual marginaliza-se a participação dos pacientes, reduzidos a corpos manipuláveis, racionaliza-se a pesquisa pela lógica do capital financeiro, onde o “mercado” toma a decisão e as universidades absorvem os riscos.⁴⁴

À luz de Lacey, pode-se dizer que a variante biomolecular do materialismo perdeu fôlego, cedendo algum espaço a uma abordagem focada na engenharia de dispositivos, como sensores, implantes e interfaces. O objetivo permanece restaurar o equilíbrio do corpo, mas por vias técnico-eletrônicas. É o que defendem os autores do relatório “*iHuman: blurring lines between mind and machine*” (Royal Society, 2019): as interfaces neurais já superariam os fármacos em vários domínios, oferecendo esperança “onde os medicamentos falharam”. Executivos do setor confirmam a mudança de horizonte: as neurotecnologias, entendidas aqui como dispositivos e diagnósticos, apresentam perfil de risco mais baixo que psicofármacos (ROBINSON, 2019, p. 183). Essa inflexão continua a reforçar a “epistemologia das partes”, alinha-se a futuros morais onde eficiência e retorno financeiro são critérios decisivos e acentua a assimetria no acesso a tratamentos – quem controla os dispositivos, controla também a promessa de cura. A translação do conhecimento é uma relação sociotécnica que reconfigura prioridades epistêmicas, modelos de negócio e regimes de valor, deslocando a centralidade da molécula para o circuito eletrônico e do paciente-voluntário para o paciente-plataforma.

Foi nessa circunstância de desconfiança diante do projeto biomolecular que os dispositivos neurais conquistaram espaço, apropriando-se de antigas problemáticas e esperanças. Diante do esgotamento das substâncias químicas, o paradigma da plasticidade renovou promessas médicas, agora alicerçadas na computação e na engenharia biomédica. Três fatores explicam essa inflexão: Primeiro, os dispositivos possuem um perfil de risco localizado, teoricamente mais controlável do que uma intervenção sistêmica. Segundo, possui uma lógica de

⁴⁴ Medtech faz referência à indústria de equipamentos e dispositivos médicos, passando pelo preparo, análise, diagnóstico, monitoramento, prevenção da saúde de pacientes e a aplicação robótica, como uma forma de aperfeiçoar procedimentos cirúrgicos, de modo a torná-los menos invasivos e suscetíveis a erros humanos. A Medtech mais intensiva em tecnologia continua em grande parte restrita ao uso hospitalar ou clínico, sendo a popularização dela mais recente e menos intensa do que o uso de farmacêuticos

monetização que opera bem no desenvolvimento de dispositivos, com ciclos de atualização e manutenção que permitem um modelo de negócio aquecido. Terceiro, faz sentido intervir de uma perspectiva de engenharia, para interfacear, modular e estimular diretamente a plasticidade cerebral. Entre as soluções mais celebradas figuram a Estimulação Cerebral Profunda para o tratamento de Parkinson e as Interfaces Cérebro-Computador como tecnologia assistiva em quadros de Esclerose Lateral Amiotrófica (ALAM, 2016).⁴⁵

O século XX inaugurou sucessivas inovações em neuroimagem, do EEG ao fMRI, decisivas para legitimar a psiquiatria, cujo lema permanece este, “*a mente é aquilo que o cérebro produz*” (ORTEGA; ZORZANELLI, 2010). Modelos matemáticos e algoritmos avançados passaram a simular o cérebro em tempo real, possibilitando que ressonâncias, magnetoencefalografias e afins sejam integradas a protocolos que monitoram voluntários enquanto realizam tarefas controladas, mas avançaram pouco para o uso doméstico, mais próximo das condições cotidianas (MCCABE; CASTEL, 2008; LINDEMANN, 2009). Tais protocolos exigem purificação elevada. Os sujeitos assistem rostos sucessivos ou palavras carregadas de afeto enquanto máquinas gigantes, do tamanho de salas, capturam microvariações hemodinâmicas. Seriam essas imagens capazes de revelar empatia, pertencimento ou repulsa na vida cotidiana? Muitos pesquisadores responderam afirmativamente apostando na plasticidade como capital explicativo onde as ciências humanas falham em identificar a materialidade última – o cérebro (GROPPE et al., 2013).

A empreitada dos dispositivos neurais acrescenta uma interdisciplinaridade radical. Conceitos abstratos, como depressão, ansiedade e resiliência, são reescritos à luz da atividade neural, depois, convertidos em diagnósticos. *Bricoleurs* audaciosos proclamam neurosociologias, sinalizando uma gestão das incertezas que desencadeia correntes de artigos, startups e programas de governo voltados a fazer da plasticidade o que a genômica foi para a biologia. Entretanto, a explosão de dados ressuscita a questão da confiança. Se a verdade

⁴⁵ Talvez o paradigma bioquímico, no tocante ao tratamento de lesões medulares e neurais, venha a passar por uma transformação significativa. Em 2025, depois de 25 anos de pesquisas o grupo liderado por Tatiana Coelho de Sampaio da UFRJ relatou o desenvolvimento inicial de um medicamento com base em laminina com resultados promissores na recuperação do sistema nervoso, com os voluntários do estudo piloto. Através de uma manipulação da molécula de laminina, que orienta a migração de neurônios e crescimento de axônios durante a embriogênese, pela acidificação controlada, Tatiana e pesquisadores alegam ter induzido a auto-organização da laminina numa cadeia longa e estável, a *Polilaminina*, um biomaterial cerca de 500 vezes maior que a laminina, que através de uma injeção preenche a lesão, formando a ponte física que havia sido rompida e reduzindo a inflação aguda que leva a morte neuronal no pós trauma, protegendo o que sobrou e estimulando o crescimento dos neurônios. A viabilização desse estudo foi resultado de uma parceria público-privado entre a agência de inovação da UFRJ e o laboratório brasileiro Cristália que investiu 28 milhões de reais no desenvolvimento da *Polilaminina*.

decorre de simulações cerebrais, os críticos têm razão de perguntar: não estaríamos apenas deslocando os problemas para um plano que, embora “material”, é altamente especulativo? Seriam os dispositivos neurais capazes de resolver a etiologia das doenças do cérebro? Poderíamos, grosso modo, atribuir a um padrão de ativação disfuncional a causa de um transtorno mental ou adaptação ótima? Ou estaríamos meio a “grandes ambições e hubris monumentais” (JASANOFF, 2004, p. 191) projetando precisão onde subsiste incerteza? Até que ponto os mapas cerebrais capturam o sofrimento humano, que está longe de ser uma patologia individual? E quem arca com o custo, financeiro, político, ontológico, de converter cérebros em plataformas?

Não há respostas acabadas para essas perguntas. A etiologia não foi resolvida pelo conhecimento dos padrões de ativação e pela possibilidade de modulá-los, contudo a bioengenharia, incluindo a neuroengenharia, renovou a promessa de cura e tratamento onde a abordagem bioquímica tinha falhado. Para examinar essa transformação, a pesquisa se concentrou nas Interfaces Cérebro-Computador (ICCs) por representarem um caso intenso de hibridização corpo-máquina e de coprodução entre precisão e reabilitação, particularmente no Brasil, país que possui uma tradição de pesquisa relevante no campo. Nota-se que o processo de passagem para o mercado, como inovação, oscila entre otimismo tecnológico e crítica epistêmica. Se, por um lado, a plasticidade legitima intervenções, viabiliza a emergência de novos ciborgues e, num plano médico, prometem restaurar funções, por outro reabre o debate sobre como ciência, capital e cultura definem o que conta como doença, tratamento e sucesso. A ideologia translacional, com sua promessa de continuidade entre bancada, leito e casa é tanto um imaginário integrador quanto fonte de ansiedade perante possíveis colapsos – os da segurança e privacidade são os principais – influenciando a rota de novas tecnologias, tais como as ICCs.

4.4. A experimentação com Interfaces Cérebro-Computador

Dentro das iniciativas que podem ser explicadas pela noção de “ontologia da parcialidade” (ROBINSON, 2019), na qual os sujeitos são entendidos pela interação entre as partes, incluindo o cerebralismo, constitui uma de suas formulações mais consequentes, a P&D em Interfaces se destaca por não se encontrar cristalizada em “caixas-pretas”.⁴⁶ As Interfaces Cérebro-

⁴⁶ Objetivando familiarizar-se com a pesquisa envolvendo ICC e neurociências, atendemos a três seminários online promovidos por diferentes instituições em meio a pandemia causada pelo COVID-19. Entre 18 e 20 de outubro de 2021 o Instituto Santos Dumont (Rio Grande do Norte, Brasil) promoveu o VII Simpósio de Neuroengenharia, no qual acompanhei as palestras sobre ICC e neuromodulação; atualmente o material está disponibilizado em vídeo

Computador (ICCs) formam um campo caracterizado por projetos de engenharia que remontam diretamente às pesquisas de Jacques Vidal nos anos 1970 – e indiretamente os experimentos de Luigi Galvani sobre eletricidade animal no final do século XVIII. Vidal é reconhecido por lançar o desafio de utilizar sinais elétricos do cérebro, captados por eletroencefalografia (EEG), para decodificar intenções e viabilizar o controle de aparelhos externos num artigo seminal de 1973. A aposta de Vidal fundava-se na emergência da computação digital em tempo real, que possibilitaria extrair padrões dos sinais de EEG, os correlatos elétricos significativos anteriormente considerados ruidosos e de difícil interpretação. As ICCs foram um salto, desde o desenvolvimento do EEG na década de 1920, reposicionando sinais cerebrais aparentemente estocásticos (aleatórios) como mensagens potenciais e úteis para comandos diretos. Até então, o EEG servia majoritariamente como evidência diagnóstica passiva para lesões avançadas e disfunções cerebrais, como Epilepsia. Vidal foi pioneiro ao demonstrar que a direção do olhar (Potenciais Evocados Visuais) poderia ser inferida a partir da atividade elétrica do córtex visual e utilizada para o controle de um cursor digital. Deste trabalho decorre a definição canônica de *Interface: um sistema de comunicação que não depende dos nervos periféricos e músculos, capaz de contornar lesões críticas e incluir pessoas paralisadas – embora, pragmaticamente, as interfaces possam ser combinadas a métodos que utilizam sinais motores para maior eficiência, formando sistemas híbridos* (VIDAL, 1973; MULLER-PUTZ, 2013; AWAUAH, AHLUWALIA, 2024).

O funcionamento de uma ICC depende de uma sequência de procedimentos técnicos, que segundo Nicolas-Afonso e Gómez-Gil (2012), formam as seguintes etapas:

- (i) aquisição do sinal e protocolo experimental;
- (ii) pré-processamento e remoção de artefatos;
- (iii) extração de características discriminativas;
- (iv) classificação via métodos tradicionais ou de aprendizado de máquina; e

no canal do Instituto no Youtube. Em novembro de 2021 participei do minicurso promovido pela Sociedade Brasileira para Progresso da Ciência (SBPC) intitulado “Compreendendo o cérebro”, ministrado pelos professores da UFRN Sidarta Ribeiro, Kerstin Schmidt e Claudio Marcos Teixeira de Queiroz. Sidarta Ribeiro foi nos anos 2000 Diretor no ISD e nos anos 90 orientando de doutorado de Miguel Nicolelis, entretanto se afastaram por desavenças pessoais e profissionais; na aula sobre sonhos dada por Sidarta, após uma pergunta vinda do chat, ele afirma que o método de Nicolelis “(...) de escrever usando estimulação elétrica é absolutamente inadmissível”, comparando Nicolelis ao bilionário Elon Musk, caracterizado por Sidarta momentos antes como “uma miniatura de marketing e fisiologia”; as ICC não foram tema deste curso. Em 22 de fevereiro de 2022 uma empresa de equipamentos médicos, a G.tech, especializada em ICC promoveu uma “masterclass” que além do caráter educativo teve o propósito de promover seus equipamentos, tecnologias e metodologia para pesquisadores e profissionais interessados em neuroreabilitação e terapia. Desde então, todos os anos, tenho participado dos eventos online da G.tech. Tais experiências foram essenciais para as reflexões propostas nesse trabalho

(v) tradução dos sinais classificados em comandos de controle.

O desenvolvimento de ICCs também envolve, em linhas gerais:

- (i) modelos animais – conhecimento anatômico e protocolos comportamentais;
- (ii) tecnologias de ponta – matrizes de microeletrodos e sistemas de aquisição-processamento dos dados neurais;
- (iii) no caso das invasivas, domínio de procedimentos cirúrgicos delicados para reduzir as inflamações.

O campo das ICCs dialogou com mudanças profundas na compreensão da fisiologia cerebral. Até a emergência das Interfaces, predominava a teoria do "neurônio único" (ou da "*célula da avó*"), que postulava a existência de neurônios altamente especializados. A viabilidade das ICCs dependeu da refutação parcial dessa teoria no domínio motor, protagonizada pelas pesquisas de Apostolos Georgopoulos nos anos 1980. Ele demonstrou que sim, os neurônios possuem uma "direção preferida", mas operam em redes sincronizadas, introduzindo o conceito de "vetor populacional": a soma dos votos de disparos de múltiplos neurônios resulta em um vetor que aponta para a intenção do movimento. Isso significava que não era preciso localizar neurônios específicos como agulhas no palheiro, mas sim monitorar uma população suficiente para extrair uma média estatística (MAHAN, GEORGOPOULOS, 2013). Com o avanço da computação e do Aprendizado de Máquina (*Deep Learning*), o campo transita para um modelo de codificação esparsa e hierárquica, que tenta conciliar a especificidade com padrões de coativação complexos. Contudo, essa abordagem exige implantes com densidade de eletrodos com ordens de magnitude superior às matrizes do paradigma anterior.

A principal cisão no campo das ICCs reside na abordagem: invasiva (intracortical/eletrocorticografia) ou não invasiva (EEG). Pioneiros das interfaces invasivas, como John Donoghue (BrainGate, c. 2006), argumentam que os sinais de EEG são excessivamente ruidosos porque os detalhes dos disparos neurais (*spikes*) são atenuados pelo crânio e barreiras físicas. A analogia clássica compara o controle via EEG a tentar ouvir uma conversa específica em um estádio lotado usando um dirigível suspenso, capta-se a excitação da multidão, mas perde-se a semântica detalhada.⁴⁷ Críticos da via invasiva, por sua vez,

⁴⁷ No original: "The current brain technologies are like trying to listen to a conversation in a football stadium from a blimp. To really be able to understand what is going on with the brain today you need to surgically implant an array of sensors into the brain". Entrevista dada por John Donoghue para Nick Bilton do *The New York Times* em

destacam a brutalidade da craniotomia, a resposta inflamatória e o revés crônico: a cicatrização encapsula os eletrodos, degradando o sinal ao longo do tempo (OXLEY et al., 2016). A resposta da vertente invasiva tem sido a busca por materiais flexíveis e biocompatíveis para mitigar essa rejeição. Em contrapartida, pesquisadores como Jonathan Wolpaw (2012) e Bin He (2025) argumentam que, para a maioria das aplicações, a perfuração craniana é desnecessária e desafiam as hipérboles de leitura da mente. Para eles, as ICCs constituem uma nova habilidade motora que o usuário deve aprender a controlar. Estudos reforçam que o uso de EEGs de alta densidade combinados com redes neurais profundas pode renovar a via não invasiva, cuja segurança e conveniência favorecem a adoção em mercados de massa como jogos e realidade aumentada (EDELMAN et al., 2025).

Existe, portanto, uma disputa ontológica pela definição do “melhor sinal”. Essa disputa tensiona a precisão (resolução espacial, invasiva) frente à segurança (cobertura não invasiva). Se o objetivo é precisão absoluta, cada *spike* importa e sua perda deve ser evitada. Se o objetivo é segurança e estabilidade, busca-se a atividade de populações neurais, as médias de campo e intervenções que durem anos – preferencialmente sem trauma cirúrgico. As soluções intermediárias, ou minimamente invasivas, tentam equilibrar essa tensão sem resolvê-la completamente. Elas compartilham com as não invasivas a crítica à craniotomia como barreira de adoção, mas concordam com as invasivas sobre a necessidade de acessar o cérebro para obter sinal fidedigno (MITCHELL et al., 2023; EDELMAN et al., 2025). A síntese perfeita, um implante invisível, eterno e de alta resolução, permanece quimérica, levando à exploração de alternativas como a ultrassom e a genética.⁴⁸

Vivemos um período extraordinário, onde múltiplos paradigmas competem pelo futuro das Interfaces. Contudo, todas as abordagens convergem para uma dependência crescente da Inteligência Artificial (IA), que vem substituindo métodos clássicos de processamento de sinais, principalmente os filtros espaciais manuais. A IA viabiliza a generalização para novos usuários e reduz o tempo de calibração, prometendo sistemas “*plug-and-play*”, prontos para uso e intuitivos. A adoção da IA reforça a retórica de inevitabilidade, tratando os métodos clássicos

abril de 2013. Disponível em: > <https://archive.nytimes.com/bits.blogs.nytimes.com/2013/04/28/disruptions-no-words-no-gestures-just-your-brain-as-a-control-pad/><. Acesso em 12 de dez. 2025.

⁴⁸ O Neural Dust (Seo et al., 2013) propõe substituir as ondas de rádio pelo ultrassom, explorando a física acústica para criar sensores microscópicos (“poeira”) que não necessitam de baterias e podem durar a vida toda no tecido cerebral, tornando o implante virtualmente “invisível”. Simultaneamente, a Optogenética (Deisseroth, 2010) ataca a imprecisão dos eletrodos ao introduzir material genético de algas em neurônios, permitindo controlá-los com luz. Isso redefine o sinal neural: de uma observação passiva ou estimulação grosseira, passa-se a um “controle definido” com precisão de milissegundos sobre tipos celulares específicos, transformando a biologia em um circuito programável.

como artesanais e obsoletos, embora, até meados de 2017, as IAs apenas tivessem alcançado paridade, sem superá-los definitivamente (SCHIRRMUSTER et al., 2017; EDELMAN et al., 2025). A escolha pela IA, portanto, reflete não apenas superioridade empírica, mas uma mudança de valores na comunidade científica, isto é, a aceitação da "caixa-preta" algorítmica em troca de escalabilidade e automação.

A disputa industrial é personificada por duas abordagens distintas de legitimação sociotécnica. A Neuralink (Elon Musk) adota uma retórica transhumanista e de escala industrial: propõe a "simbiose com a IA" para evitar a obsolescência humana, apostando em robótica cirúrgica avançada para inserir milhares de eletrodos flexíveis ("threads") e maximizar a largura de banda. Em contraste, a Synchron, fundada por dois professores universitários australianos, Thomas Oxley e Nicholas Opie, adota uma estratégia de deslocamento: ao invés de enfrentar os riscos da neurocirurgia, utiliza a infraestrutura da cardiologia (stents e cateteres) para acessar o cérebro pelas veias (Stentrode). Sua promessa é pragmática e médica: uma tecnologia "suficientemente boa" e segura para devolver autonomia digital (texto, banco online) a pacientes paralisados, sem a necessidade de abrir o crânio (MITCHELL et al., 2023).

As ICCs engajam uma economia sustentada por expectativas de lucro futuro, tal como os demais mercados emergentes. A Grand View Research estimou o setor em cerca de US\$ 1,5 bilhão (bi) em 2020, enquanto investidores aportaram US\$ 531 milhões em startups no ano de 2021. Tal dispositivo, pela capacidade de viabilizar um entendimento computacional das intenções subjacentes aos sinais elétricos cerebrais, representa uma das formas mais intensas de hibridização corpo-máquina na atualidade. Atualmente, as ICCs mobilizam um mercado ávido por aplicações. Elas aparecem vinculadas à pesquisa acadêmica (Imagem 3, G.tec), a reabilitação de pessoas com déficits motores graves via implantes invasivos (Imagem 4, Blackrock Neurotech; Imagem 5, Synchron) e, potencialmente, o uso comercial por indivíduos considerados "saúdáveis" (Imagem 6, Neuralink).

Entre os motores que conferem a velocidade para chegar ao mercado destaca-se a crise do modelo farmacológico no tratamento de depressão e de sintomas incapacitantes, como ansiedade e depressão. Essa crise enquadrada pelo *ethos* de produtividade do capitalismo (Pickersgill et al., 2015). Dispositivos de consumo, como FocusCalm e Flow (Imagens 7–8), exploram essa lacuna ao oferecer neurofeedback e estimulação para alívio do sofrimento psíquico.

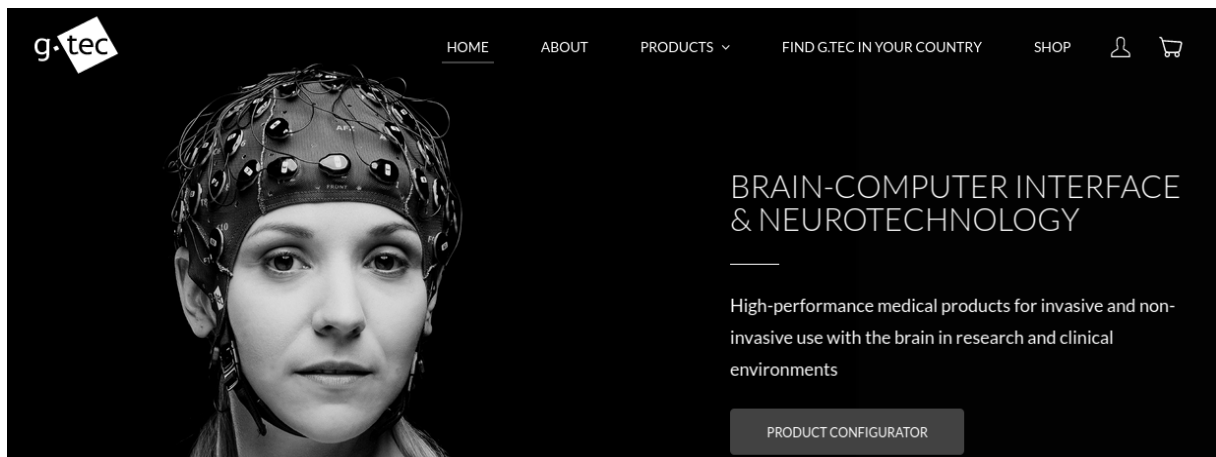


Imagem 5: G.tec medical engineering: “Interface Cérebro-Computador e Neurotecnologia: produtos médicos de alta performance para uso invasivo e não invasivo em pesquisa e ambientes clínicos”.

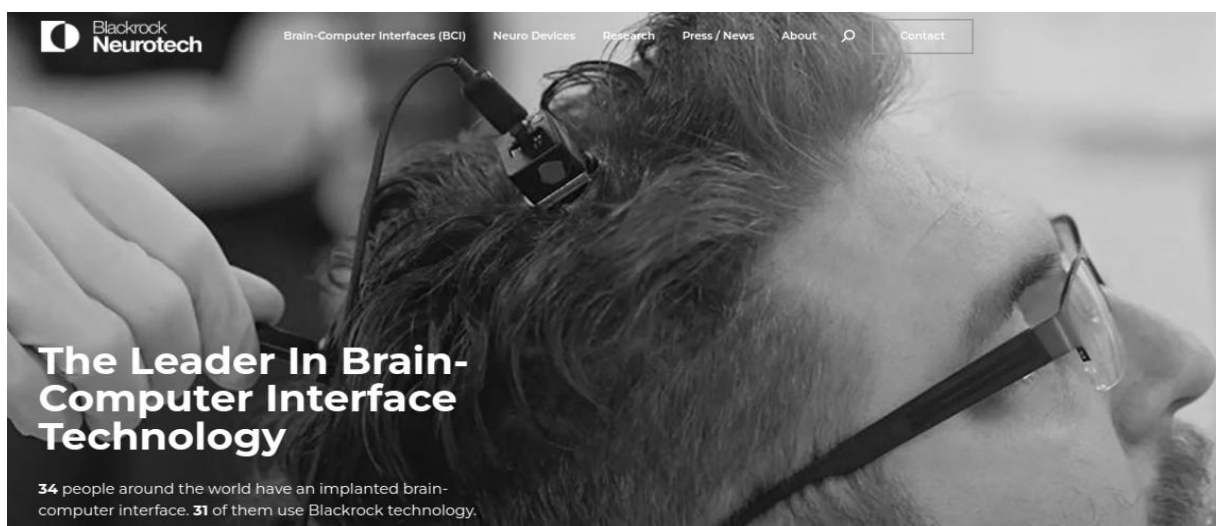


Imagem 6: Blackrock Neurotech: “A líder em tecnologia ICC: 34 pessoas no mundo possuem uma ICC implantada; 31 usam tecnologia Blackrock”.

synchron

Neurotechnology to address the limitations of the human body

The brain-computer interface designed to enable people to use their thoughts to control a digital device.
Join our online community for more information and future trial opportunities.

Imagem 7: Synchron: “Neurotecnologia para superar limitações do corpo humano: controle de dispositivos digitais apenas pelo pensamento”.

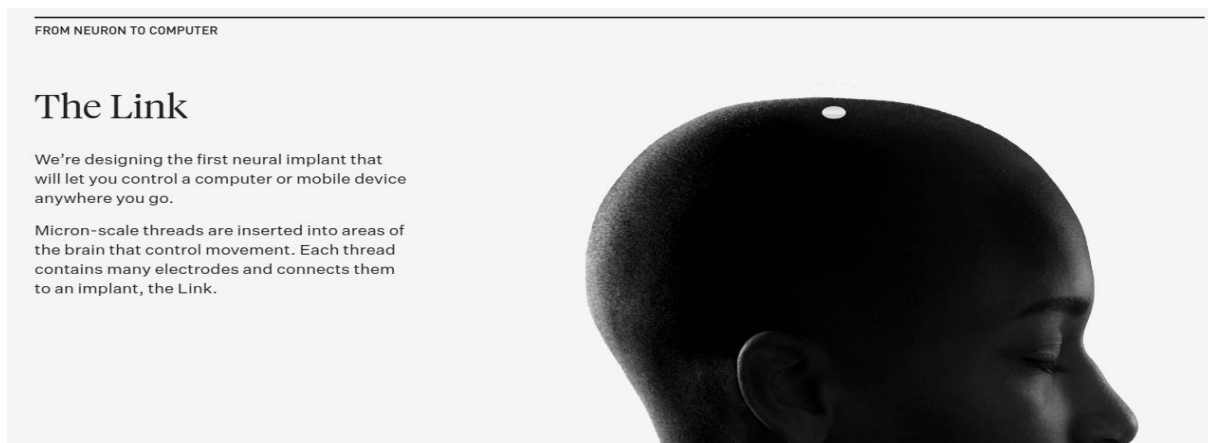


Imagem 8: Neuralink: “O Link: primeiro implante neural para controlar computador ou dispositivo móvel em qualquer lugar”.

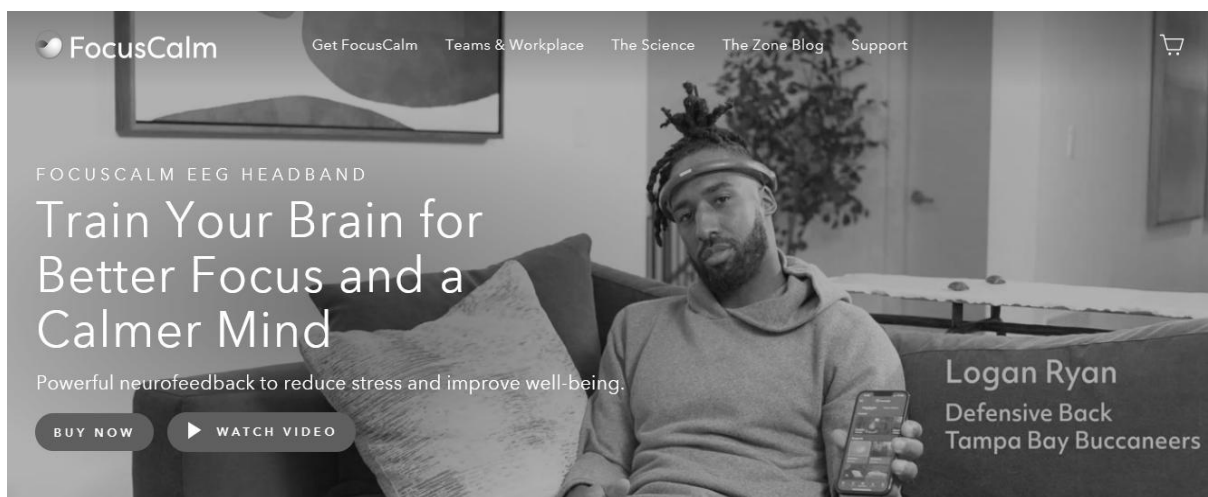


Imagem 9: FocusCalm: “Treine seu cérebro para foco e mente calma: neurofeedback para reduzir estresse e melhorar bem-estar.

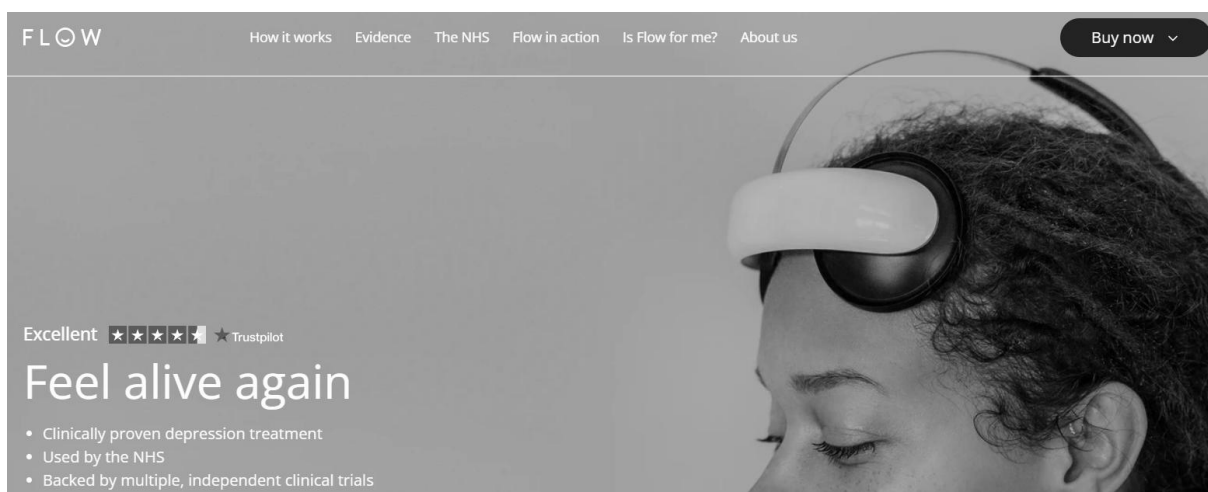


Imagem 10: Flow: “Senti-me viva de novo. Clinicamente aprovado para depressão, utilizado pelo NHS”.

As ICCs emergem em meio à crise do paradigma molecular e bioquímico, herdando afinidades com o discurso clínico e articulando princípios da pesquisa comportamental enquanto reativam noções ontológicas do “self” como epifenômeno cerebral (Rose; Abi-Rached, 2013). Os objetos em questão – populações neurais, cérebro plástico, corpo – adquirem legitimidade adicional por se conectarem à narrativa evolucionária. Tanto no paradigma molecular quanto no neural inexistente fronteira epistêmica rígida entre fenômeno biológico e social. Isso é crucial, pois, embora a comunidade científica modere suas conclusões, a divulgação pública dos resultados – algo que será explorado na Parte 2 do trabalho – costuma carregar significados amplificados, frequentemente permeados por narrativas de redenção (superação das limitações corporais) ou de empoderamento (autogerenciamento do estresse) (Vidal; Ortega, 2017). Redenção ou empoderamento à parte, o ideal de controle reinstaura sob novo prisma a oposição mente-cérebro, agora dissolvida no paradigma da plasticidade. Nos espaços institucionais, a filosofia da mente interessa pouco: o foco recai sobre as revelações proporcionadas pelas tecnologias de captura, que permitem representar o cérebro vivo em escalas cada vez menores. Como apontou Haraway (2013), trata-se de usufruir “graus de liberdade”: nenhum lugar permanece sagrado, tudo pode ser interfaceado. As simulações cerebrais, por sua vez, sustentam uma retórica que inscreve a autonomia do sujeito no contato sociotécnico.

Essa discussão é incontornável para a sociologia, pois a complexidade do mundo extrapola os laboratórios, esses espaços excepcionais nos quais mundo e ciência são coproduzidos para gerar enquadramentos padronizados com o potencial de difusão – na maioria das vezes aspiracional, excepcional. Por esse motivo, as tecnologias alcançam a vida cotidiana ao final de um extenso percurso de coprodução. Além disso, a experimentação e prototipação congregam uma rede heterogênea de atores – empresários, políticos, ratos, macacos, engenheiros, médicos, fisioterapeutas e pacientes – evidenciando que práticas sociotécnicas são sempre mais intrincadas do que supõem os discursos gerencialista de inovação, interessados nas grandes figuras quantificáveis como investimentos e resultados, principalmente artigos, patentes, startups.

Nos empíricos mais extensos sobre Interfaces Cérebro-Computador (ICC), conduzidos por Şahinol (2019) e Kögel et al. (2020a; 2020b) no contexto euro-norte-americano, a experimentação em ICC – por envolver um sistema tecnológico complexo cuja configuração impõe práticas restritivas às expressões corporais – é caracterizada pela tensão constante entre

voluntários, cuidadores e pesquisadores. A qualidade dos dados, proporcional ao desempenho do participante, exige evitar pensamentos não intencionais e movimentos capazes de gerar artefatos. Os “artefatos” são sinais que comprometem a precisão do registro neural e, portanto, devem ser isolados e filtrados. Isso implica treinamento intensivo e sucessivos encontros entre voluntários e pesquisadores para fortalecer as habilidades cognitivas de controle das pulsões e foco na tarefa. Como observa Mauldin (2014), trata-se de uma “plasticidade precária”, que demanda uma gestão econômica dos recursos neurais – daí a distinção entre “literacia” e “iliteracia” em ICC, empregada para classificar quem consegue ou não estabelecer comunicação efetiva após o treinamento. A exigência de um ambiente altamente controlado evidencia-se no relato etnográfico de Şahinol (2019): o fisioterapeuta apoia a mão paralisada do paciente Green para direcionar o joystick, mas esse contato gera artefatos no EEG e invalida a correspondência entre intenção e movimento, irritando o neurocientista responsável (Şahinol, 2019, p. 256). O cuidado clínico, portanto, colide com o imperativo de purificação dos dados. O modelo experimental, consolidado em décadas de pesquisa com animais, concebe seus participantes com cabeça e membros em repouso ou imobilizados – em não humanos, frequentemente dentro de caixas de restrição –, conectados ao computador enquanto fixam a atenção numa tela. Nessa configuração, sinais corticais “bons” valem mais que relatos subjetivos, a tecnologia avançada supera a fisioterapia tradicional e qualquer contração muscular vira ruído.

Roberto Favalli (2024) recentemente defendeu uma tese acerca das ICCs que, em muitos aspectos, se assemelha ao esforço aqui empreendido – os principais pontos de distinção estão na abordagem, Favalli trabalha fundamentalmente com o arcabouço da Construtivismo Social da Tecnologia (SCOT) e da Teoria Ator Rede (ANT) e no alcance empírico, mais diversificado, ele realizou entrevistas com acadêmicos, empreendedores, jornalistas, além de etnografia multi-situada (digital mais presencial). O autor se propôs a seguir os “futuros” das Interfaces, para isso empreendeu um esforço genealógico do campo nas esferas acadêmica e comercial e identificou que, inicialmente a pesquisa era motivada primariamente pela curiosidade, isso muda com a primeira conferência sobre Interface realizada em Rensselaerville (Nova Iorque, EUA) em 1999 na qual a comunidade distancia-se das especulações futuristas para uma avaliação científica do campo, que culmina na publicação de Wolpaw e colaboradores em 2002, conhecida por ter dado o tom do enquadramento da pesquisa em Interface para as décadas seguintes. Com a difusão das pesquisas em ICCs, os desafios técnicos ganharam maior vulto, levando a constatação de que é uma solução pouco acessível, restrita para pacientes com

deficiências severas, embora houvesse especulações sobre usos comerciais no futuro. Por volta de 2005, o campo passou por uma inflexão, as especulações sobre aprimoramento cognitivo que beiravam o transhumanismo saíram de moda (mas não desapareceram), veio a virada realista em meados de 2012, com enfoque médico e viabilidade, decorrente de uma autocrítica dos acadêmicos no tocante às limitações técnicas combinada a uma pressão do mercado por retornos sobre os investimentos. Apesar dessa virada, Favalli (Ibid.) revela a falta de consenso entre seus entrevistados sobre a direção futura das Interfaces. A parte cética, dominante, defende a exclusividade médica, argumenta que a expansão para usuários saudáveis é irrealista; a outra, especulativa, defende o potencial transformador, que as Interfaces estão no início de um processo evolutivo e que, ao final, viabilizarão o aprimoramento, também argumenta que há contextos cotidianos, no mundo do trabalho (pilotos, motoristas, cirurgiões), nos quais a tecnologia já é benéfica. As mudanças no campo reverberam no espaço público em oposições discursivas. Segundo Favalli, são três: oposição entre tecnologia médica e de aprimoramento; entre céticos e especuladores – ou realistas e sonhadores; entre normalização e radicalização – nesse último tipo a oposição diz respeito se a tecnologia será integrada incrementalmente na sociedade ou se levará uma ruptura ou revolução ciborgue. O autor argumenta que na prática os atores demonstram atitudes ambíguas, oscilam entre a incerteza e o otimismo, “caminham na corda bamba” evitando o comprometimento exclusivo e para manter a esperança de que inovações futuras estão a caminho. Tratar-se-ia de uma estratégia deliberada, seja para atrair investidores ou fascinar o grande público, que reflete no plano cultural uma crise das dicotomias (terapia/ aprimoramento; fato/ ficção; normal/ radical).

Portanto, não se trata tanto de ser incerto se as BCIs serão dispositivos restauradores ou de aprimoramento, mas de que as categorias 'terapêutico' e 'aprimoramento' parecem ter perdido a maior parte de sua capacidade de fazer sentido quando se trata de antecipar os futuros de tecnologias emergentes como as BCIs. Por exemplo, qual é a diferença entre uma pessoa com deficiências motoras e uma pessoa sem deficiências motoras quando ambas usam uma BCI para acender a luz ou abaixar o volume da televisão? [...] Da mesma forma, não se trata tanto de não sabermos se as BCIs são mais um fato científico ou uma obra de ficção, mas de que a própria distinção entre ciência e ficção científica [...] parece cada vez mais incapaz de gerar representações significativas do futuro. (FAVALLI, 2024, p.167. Tradução livre)

As incertezas preparam o ambiente para as críticas e no Brasil o campo foi marcado por um evento público em particular. O projeto “Walk Again”, liderado por Nicolelis, que teve seu resultado exibido na abertura da Copa do Mundo de 2014, ilustra o hiato entre promessa e realidade. O chute de um voluntário paraplégico vestindo um exoesqueleto comandado por ICC foi acusado de espetáculo, de falhas técnicas não divulgadas e de inflar expectativas sobre

interfaces não invasivas.⁴⁹ Sob a lente coprodutionista, o projeto Walk Again é emblemático por manifestar as três assinaturas da modernidade (JASANOFF, 2004): incerteza ontológica (Se houve controle, por que tão efêmero – como um chute de dois segundos?), velocidade (passagem rápido do protótipo e experimentação para solução); desresponsabilização (falhas não divulgadas, críticas motivados por ressentimentos e questões pessoais). O entusiasmo pela abertura da Copa no Brasil, combinado com a promessa de superação das perdas funcionais da deficiência, mais, do outro lado, ceticismo e resultados ambíguos, formaram uma recepção polarizada, um imaginário que se mobiliza em torno da redenção tecnológica, no entanto não se estabiliza. Apesar da visibilidade de uma abertura da Copa a pretensão de liderança global, o esforço continua aspiracional.

Contudo, as críticas não bloquearam a pesquisa e a continuidade do projeto; ele foi reformulado em uma agenda translacional focada na reabilitação. No Brasil, o Instituto Santos Dumont (ISD), em parceria com o Hospital Israelita Albert Einstein e a Associação de Assistência à Criança Deficiente, demonstrou potenciais terapêuticos de exoesqueletos habilitados por ICC para pacientes com lesão medular grave. Após dez meses de treinamento, voluntários progrediram de paralisia completa para parcial, desafiando o diagnóstico de irreversibilidade (Donati et al., 2016; Shokur et al., 2016; 2019; Selfslagh et al., 2019).

Os resultados posteriores sugerem que o fracasso midiático coexistiu com avanço científico real e que a dialética entre valores sociais e cognitivos é, geralmente, instável. A fecundidade, os resultados publicados, citados e a significância (credibilidade pública, após abertura), podem estar dissociados. O trabalho exigido para estabilizar o reforço mútuo entre valores sociais e cognitivos exige, além de ciência, um arranjo institucional favorável para introduzir a inovação na sociedade, toda uma dimensão de gestão e estratégia que se interpõe e se torna condição para viabilização futura. Desajustes geram colaterais de credibilidade que podem ser difíceis de superar.

⁴⁹ A seguir algumas leituras que caracterizam essa polêmica:

- (i) MILLER, Greg. Is this mind-controlled exoskeleton science or spectacle? Wired, San Francisco, 16 maio 2014. Disponível em: ><https://www.wired.com/2014/05/world-cup-exoskeleton/><
- (ii) BOHANNON, John. Brain-machine interface to kick off World Cup draws hype—and skepticism. Science, Washington, DC, 11 jun. 2014. Disponível em: ><https://www.science.org/content/article/brain-machine-interface-kick-world-cup-draws-hype-and-skepticism><
- (iii) LEWIS, Tanya. Paraplegic man kicks off World Cup with robotic exoskeleton. Live Science, New York, 13 jun. 2014. Disponível em: <https://www.livescience.com/46296-world-cup-exoskeleton-kick.html>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- (iv) ACKERMAN, Evan. Mind-controlled exoskeleton World Cup kick was kind of a letdown. IEEE Spectrum, New York, 13 jun. 2014. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/mindcontrolled-exoskeleton-world-cup-kick-was-kind-of-a-letdown>. Acesso em: 27 abr. 2025.

A. Motor improvement over time (ASIA scale)

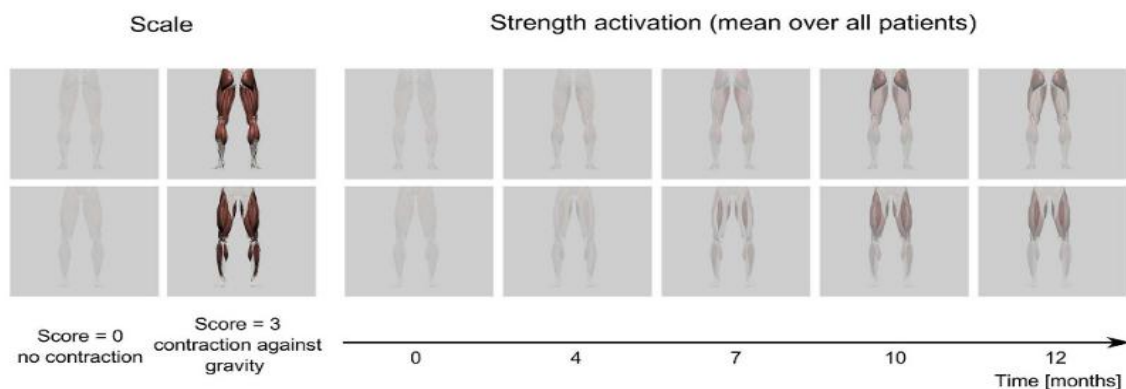


Imagem 11: Evolução motora segundo a escala ASIA.⁵⁰

Fonte: DONATI, et al., 2016.

O valor cognitivo reside na produção de dados controlados que evidenciem a ativação de circuitos motores e sensoriais para viabilizar a reabilitação e só adquire significância quando conectado à experiência positiva dos voluntários, pois a recuperação de movimentos reinscreve a subjetividade por meio da promessa de autonomia e reintegração social, projetando o cérebro como lugar de superação. O contexto brasileiro é particularmente relevante devido ao protagonismo do Instituto Santos Dumont (ISD). Miguel Nicolelis, em webinar da Universidade Federal do Pará (2020), relatou ganhos sensoriais e motores de voluntários paraplégicos que desafiaram o diagnóstico de irreversibilidade.⁵¹ Como se discutirá mais à frente, em contextos periféricos, geralmente, a fecundidade científica esbarra na escassez de infraestrutura e investimento para inovação, gerando pesquisa produtiva em publicações, mas pouco alinhada às necessidades sociais. O ISD, junto a outras iniciativas, como as da UFES e Unicamp, busca recompor a dialética entre fecundidade e significância, articulando pesquisa com benefícios tangíveis, particularmente inclusão e redução de desigualdades, reforçando, ainda que de forma parcial, a dialética entre valores cognitivos e sociais.

O desafio consiste em articular ciência materialista de ponta a considerações situadas sobre sujeitos socialmente enraizados, exigindo pluralidade epistemológica, aquilo que Lacey e Mariconda (2014) chamaram de estratégias contextualizadas. Na ausência de tal articulação, instala-se desestabilização crônica e déficit de legitimidade, agravados por irregularidade do

⁵⁰ A Escala ASIA (American Spinal Injury Association) classifica lesões medulares de A (paralisia completa) a E (função neurológica normal), permitindo monitorar progressos motores e sensoriais ao longo do tempo.

⁵¹ Segundo (Nicolelis 2020b) após dez meses de treinamento com ICC e realidade virtual, voluntários paraplégicos crônicos recuperaram sensibilidade média de dez segmentos na escala ASIA e contrações motoras parciais; sete de oito passaram de ASIA A (paralisia completa) a estágios menos severos, hipótese atribuída à reativação de fibras residuais da medula.

apoio estatal, dependência tecnológica, fragmentação institucional e divulgação incipiente (Neves, 2020).

Atualmente, os pesquisadores brasileiro reconhecem que as ICCs estão longe de promover reabilitação, no sentido forte da palavra. O *hype* em torno das interfaces, que antecipa consequências revolucionárias, reitera dinâmica histórica já descrita por Leite (2005) para a engenharia genética: expectativas elevadas contrastam com resultados modestos. Esse entusiasmo expressa a fecundidade aspiracional da tecnociência, os resultados preliminares são vistos como precursores de sofisticação futura, conferindo legitimidade a tecnologias em desenvolvimento. As neurotecnologias mobilizam a esperança de cura para angariar apoio financeiro e público, sobretudo contra condições incapacitantes como a ELA e a “síndrome do encarceramento”. Esse sentimento molda prioridades de pesquisa, seja pelo cuidado de si ou pela vontade de beneficiar gerações futuras. Esperança, portanto, é categoria moral-política que demanda sustentação coletiva de bens tidos como fundamentais (autonomia, privacidade, liberdade).

A experimentação tecnológica produz tensões entre o cuidado aos doentes e a gestão racional de uma plasticidade cerebral considerada recurso precário. Além disso, artefatos não filtrados colocam obstáculos centrais à pesquisa. Como assinalam Şahinol (2019) e Kögel et al. (2020a; 2020b), a busca por sinais “limpos” requer voluntários com habilidades específicas e motivações alinhadas ao protocolo experimental. A literatura estudada indica que o desenho experimental estimula a conformação do corpo, reiterando sutilmente a oposição mente/corpo. Entrevistados por Şahinol, Kögel não se consideram ciborgues, mas veem as ICCs como extensões instrumentais do corpo, posição também observada por Heersmink (2013). Brenninkmeijer (2013; 2015; 2016) acrescenta que usuários de ICCs adotam uma perspectiva utilitarista (portanto, dualista), as tecnologias respondem às intenções individuais sem redefinir a identidade.⁵² Assim, a integridade do “eu” não é transformada, mas reforçada, pois a prática

⁵² A persistência do dualismo é um achado analítico importante da literatura CTS. À luz do idioma da coprodução podemos notar as assinaturas da modernidade em operação, particularmente a incerteza ontológica em torno do *self*. Ela resiste ao materialismo, mas se desloca nas sociedades liberais para o plano da performance. Os usuários de interfaces e demais neurotecnologias operam os dispositivos ‘como se’ os controlassem de um espaço mental coerente e unificado, por uma mente, mas a teoria subjacente que viabiliza o controle nega a existência desse modo ao dissolver qualquer separação entre mente-corpo. A contradição é constitutiva do materialismo, simultaneamente o humano é o ‘eu que o cérebro produz’ e a prática dualista de que ‘o eu produzido controla o cérebro’, preserva-se a hierarquia quando necessário. A teoria favorece o hibridismo, sem é o qual não é possível conectar eletrodos aos neurônios, contudo parte da prática ao envolver humanos, pessoas com direitos, biografias e expectativas, pode evocar manifestações de dualismo, principalmente ao convocarem dos usuários atenção e foco – o que pode ser cansativo. Como método de engajamento o apelo a um espaço mental uno e racional tem um lugar especial, com efeitos que apontam para a gestão ou governança dos recursos plásticos, mas precários, do cérebro.

experimenta-se na capacidade de focar na tarefa e dominar as inconstâncias do corpo, em aparente contraste com o discurso neurocientífico que concebe o self como epifenômeno (Vidal; Ortega, 2017). Importa notar que as ICCs não apenas assistem o corpo, mas também podem estimular processos de reparo. O caso brasileiro confere oportunidade para articular Estudos CTS, valores e saúde, oferecendo estudo de caso que dialoga com a literatura internacional.

4.5. Considerações finais

Até aqui construímos, grosso modo, três argumentos sobre o materialismo nas neurociências, que podem ser assim sistematizadas.

(i) *Materialismo coproduz ciência e humanidade*

O primeiro argumento aponta para a coprodução de conhecimento do cérebro e a especificidade humana – a emergência de um self, alguém com uma biografia, que partilha de uma cultura e comunidade. O cérebro e neurônios quando percebidos pela chave da precisão, implicitamente uma narrativa de progresso técnico das tecnologias de imagem e simulação, viabilizam um conhecimento sistemático atrelado com a materialidade decorrente dessa evolução, de um passado e um futuro com um telos de controle definido – no futuro, sempre maior. Quando conhecimento e materialidade são manifestados nos protocolos clínicos a coprodução adquire validade na vida de voluntários, pacientes e consumidores, através de aplicações mais próximas da realidade cotidiana e na construção de bases de dados que viabilizam o desenvolvimento tecnológico, formando rotas e oportunidades de implementação. Conhecimento e materialidade estão a serviço de um propósito, a realidade cotidiana, algo que nas sociedades liberais têm assumido a feição de uma ética somática que desloca as práticas de cuidado para uma lógica de otimização e promoção do indivíduo (ROSE, ABI-RACHED, 2013).

Um dos efeitos desse deslocamento pode ser identificado no debate sobre a dificuldade de distinguir uso terapêutico de otimização ou aprimoramento, especialmente quando há confluência entre liberalismo, ética somática e privilégios econômicos e políticos, a exemplo do Vale do Silício e os *CEOs* profetas da disrupção, alguns deles entusiastas de teses transhumanistas (de aperfeiçoamento da espécie humana). Deslocamento não significa purificação, as práticas de cuidado continuam a implicar solidariedade com um outro e a valorização da inclusão. O ponto chave do raciocínio é que, dentro da própria concepção dominante de ciência, há um tensionamento do valor controle com considerações outras, que

tocam no íntimo do que significa ser humano – o modelo ideal é o da realização individual, equalização social ou amplo acesso, inclusive das possibilidade de aprimoramento? É como se, no lugar da distinção formal entre terapia e aprimoramento, formasse um caleidoscópio.

(ii) *A dialética das transformações paradigmáticas*

A cada transformação paradigmática há uma mutação na articulação entre os valores cognitivos, particularmente o da precisão, com os valores sociais do controle e aplicabilidade. A passagem do localizacionismo ao conectivismo, a integração razão-emoção a coprodução da visibilidade indicam para algo mais do que substituições teóricas, elas são feitas de arranjos institucionais, biografias e imaginários. O materialismo atual das neurociências tem a plasticidade como metáfora articuladora, que simultaneamente manifesta achado empírico e conceitual (o cérebro é plástico) e legitimador (a intervenção pode trazer benefícios).

(iii) *Interrupção da dialética nas periferias*

Na periferia a fecundidade científica (publicações, colaborações internacionais, bons dados) não está atrelada à significância, em parte porque as condições de contorno (capitalismo, militarismo) não são favoráveis, mas há estratégias contextualizadas de modo a contornar essa desconexão, no caso das neurotecnologias e particularmente as Interfaces Cérebro-Computador, a ampliação do acesso via SUS. O desafio tem sido articular ciência materialista atualizada – mas não necessariamente a mais arriscada ou disruptiva – com a defesa do serviço público, num contraste com o baixo interesse do mercado e investidores no desenvolvimento de soluções nacionais (sensores, órteses, próteses).

4.6. Sobre a parte 2 desse trabalho

A segunda parte deste trabalho concentrar-se-á nos valores e imaginários sociotécnicos articulados pelos pesquisadores para significar suas atividades. Como a P&D em ICC no Brasil ocorre majoritariamente na pós-graduação, a translação clínica constitui a principal via de institucionalização. Até o momento, o debate refere-se sobretudo a aplicações que facilitam comunicação e locomoção de indivíduos com déficits motores graves e eventual reabilitação. Embora a comercialização massiva para fins recreativos seja possibilidade futura para a indústria de TICs, a sua legitimação real ancora-se no discurso biomédico e na sociabilidade que esse discurso promove (a do paciente). A argumentação hegemônica sobre a reabilitação, centrada na reversão parcial da “incapacidade física” (Gutiérrez-Martínez; Núñez-Gaona, 2014), molda o debate público e mobiliza um amplo conjunto de atores – pessoas com

deficiência, familiares, associações de pacientes, profissionais de saúde, engenheiros, gestores e governantes – por meio da esperança. A presença do sujeito a ser reabilitado confere às ICCs prioridade distintiva sobre outras agendas de pesquisa, investindo-as de um juízo de nobreza permeado por motivação altruísta. Também se deve indagar se a comercialização em massa tensionaria os valores que pesquisadores brasileiros consideram adequados para uma tecnociência contextualizada no Brasil. A lógica do lucro, tornada explícita pelo capital estrangeiro, exigiria argumentos capazes de mitigar contradições entre capitalismo, desigualdades e erosão do espaço público. Em estudo sobre usos comerciais das ICCs, Hansen et al. (2017) registram a preocupação de alguns pesquisadores com a ganância que orienta o setor. Como essa problemática é percebida no Brasil? As respostas parecem oscilar entre críticas pontuais e conformidade pragmática, vislumbrando a massificação como caminho necessário para aplicações de assistência e reabilitação.⁵³ Sustenta-se que o uso generalizado reduziria o estigma sobre usuários que mais necessitam (Aas; Wasserman, 2012). Interessa saber como os pesquisadores brasileiros avaliam o interesse recreacional, as especulações sobre aprimoramento cognitivo e psicológico e a viabilidade tecnológica dessas aplicações (Hansen et al., 2017; FAVALLI, 2024). Tal como indaga Emily Martin (2010, p. 279), as “[...] esperanças e desejos tornaram-se particularmente vívidos sob condições neoliberais”.

A busca pelo lucro costuma justificar-se pela promessa de bem-estar coletivo: “*fazer dinheiro faz parte do jogo*”. O sistema econômico é percebido como dado imutável; cabe aos pesquisadores adequar-se ao imperativo mercantil. Brendan Allison (2020), em seminário da Microsoft, gigante com algumas iniciativas em ICC, argumenta que projetos de grande escala podem baratear sistemas de EEG, gerar novas aplicações e, indiretamente, beneficiar pacientes; contudo, alerta para exageros, distração em relação às demandas clínicas e possível desconfiança pública (Allison, 2020, 66 min). Expectativas elevadas e desafios técnicos

⁵³ O livro autobiográfico de Miguel Nicolelis, uma das lideranças internacionais na pesquisa envolvendo ICC, “*Made in Macaíba: a história da criação de uma utopia científico-social no ex-império dos tapuias*” (2016) é um bom exemplo nacional de como diferentes esferas sociais atravessam umas às outras em meio a realização de um projeto científico. Motoyama (2004) destacou a importância histórica na Ciência e Tecnologia brasileira dos cientistas pioneiros, estelares, entre os quais o próprio Alberto Santos Dumont é um dos mais emblemáticos, em razão da própria controvérsia acerca do primeiro voo, que dá o nome do Instituto fundado por Nicolelis. Será que, no caso das ICCs, haveria, como no caso do avião, narrativas concorrentes sobre a criação dessa tecnologia? Nicolelis reivindica ter sido autor da primeira experiência tecnológica com animais bem-sucedida em 1999, em parceria com seu orientador John Chapin, então professor na Universidade MCP-Hahnemann, Filadélfia. Inclusive, Nicolelis conta que, junto com Chapin, criaram o amálgama “*Brain-Machine Interface*”. Entretanto esse ponto não é pacífico. Por exemplo, no relatório da Royal Society, o “*iHuman: blurring lines between mind and machine*”, Nicolelis é citado apenas duas vezes e sempre como coautor e Chapin sequer é mencionado, já a autoria do primeiro experimento bem-sucedido é atribuída para a dupla Kennedy e Bakay da Universidade de Emory, Atlanta, em 1998.

(acurácia limitada, treinamentos extensos) tornam a pesquisa em ICC vulnerável a desapontamentos e a cobertura midiática hiperbólica, algo que Favalli (2024) também relatou com particular acurácia. Isso levanta a pergunta-guia: como pesquisadores de ICC atuantes no Brasil interpretam essa conjuntura ambivalente, marcada por promessas de neuroreabilitação e capitalização, ceticismo e ansiedade?

Parte 2: Os valores na prática – Imaginários, Capitalismo e Alternativas.

5. A PCT nas periferias sob a ótica da dialética dos valores

Foi o melhor dos tempos, foi o pior dos tempos; foi a idade da sabedoria, foi a idade da tolice; foi a época da fé, foi a época da incredulidade; foi a estação da luz, foi a estação das trevas; foi a primavera da esperança, foi o inverno do desespero; tínhamos tudo diante de nós, não tínhamos nada diante de nós. (VILLASCHI, 2005, p.17, apud. DICKENS, “O conto das duas cidades”, 1859)

Começamos a investigação pela estranheza que caracteriza as periferias. Ao mesmo tempo ciência internacional e baixa tradução em inovação, evidência do desajuste do modelo linear, de que a ciência alimenta o mercado com novas tecnologias. Esforços significativos de institucionalização, com ciclos de expansão, arcabouços modernos e retórica pró-inovação apresentam resultados no mínimo ambíguos. O problema das periferias é persistente porque a dialética está interrompida pela própria estrutura dual do capitalismo, de um polo moderno e outro atrasado. A persistência do diagnóstico é evidência da sua estabilidade. A interrupção da dialética é uma forma de coprodução na qual a avaliação premia a assimetria, o mercado caminha para a concentração, as periferias oscilam entre aspiração (centro-na-periferia) e resignação (periferia-na-periferia).

Este capítulo é um ensaio sobre a trajetória das Políticas de Ciência e Tecnologia (PCT) no Brasil, com ênfase na forma como o Estado vem significando o desenvolvimento e a inovação. Com base na dialética entre valores sociais e cognitivos proposta por Lacey (2008), investiga-se de que modo essas políticas expressam o valor controle – entendido como a busca por domínio técnico sobre a natureza – e como, em contextos institucionais frágeis, geram “ilhas de excelência” de significância social ambígua.⁵⁴ O ensaio toma como ponto de partida uma revisão da literatura que tratou da PCT e estudos precursores da escola desenvolvimentista. O objetivo foi realizar uma exploração das ideias mais representativas que habitam o imaginário dos analistas que se dedicaram ao tema. A revisão destaca dois padrões recorrentes: (i) a insularidade da comunidade de pesquisa, associada ao elitismo e desinteresse que limita a colaboração e resolução de problemas sociais; e (ii) a volatilidade e falta de coordenação da

⁵⁴ A análise realizada traz elementos interpretativos que refletem a experiência do autor numa pesquisa qualitativa com o setor eletrônico brasileiro entre 2023 e 2024. O autor destaca que os apontamentos realizados sobre esses setores e instrumentos de apoio constituem uma interpretação entre outras e não refletem uma posição das instituições e participantes envolvidos, gestores e pesquisadores em sua maioria, e alguns diretos. Uma vez que os resultados dessa pesquisa não foram divulgados (jul. 25), o autor faz um uso livre de alguns achados que inspiram a discussão acerca da dialética entre valores sociais e cognitivos, preservando a anonimidade e confidencialidade das informações.

agenda de C&T (incluída a inovação), fortemente influenciada por instabilidades político-econômicas.

A literatura oferece perspectivas complementares sobre a interação mediada entre valores sociais (desenvolvimento, industrialização, competitividade) e valores cognitivos (excelência, precisão, neutralidade técnica) por meio de revisão histórica da industrialização brasileira da segunda metade do século XX até os esforços recentes. Em diálogo com ela, o argumento desenvolvido nesse ensaio é, sumariamente, o seguinte:

As estratégias possuem uma retórica de controle (valor social), mas sua manifestação, na prática, é incompleta, interrompida por um contexto de fragilidade sistêmica. As tentativas de potencializá-la incluem a convocação de outros valores que fazem a ponte com a vida econômica e o modo capitalista, particularmente desenvolvimento e competitividade. Mas os resultados desse arranjo entre valores sociais são frágeis nas periferias e, na melhor das hipóteses, excepcional. Do outro lado, pelos valores cognitivos, a excelência, neutralidade e produtividade balizam decisões relativas às possibilidades do conhecimento, que dispensam considerações sobre a viabilidade das aplicações, distantes das demandas da sociedade e empresas, entretanto do ponto de vista da fecundidade científica (dos papers) são excelentes. Configura-se, portanto, uma interrupção da dialética. A não-inovação é a norma, a aspiração do controle é a exceção explicada, simultaneamente desejo e irrealização. Então, sob quais condições excepcionais é possível inovar?

5.1. Precusores: a Escola da Dependência

Theotonio dos Santos no clássico “*A estrutura da dependência*” (2011:1970) definiu “dependência” como a relação que produz crescimento desigual e combinado entre um polo dominante e outro dominado. O polo dominante, central, é mais dinâmico porque goza de um “*superplus*”, ancorado no controle das finanças – via empréstimos e capital – e do trabalho – via superexploração – nas periferias. O autor distingue três tipos de dependência: a colonial (especialização rígida no setor primário para exportação); a financeira-industrial (grande capital estrangeiro domina os setores mais dinâmicos, subordinando países pela capacidade de investir e emprestar); a tecnológica-industrial (multinacionais exercem domínio de mercado, produzindo economias avançadas e atrasadas). Santos (Ibid.) criticou o argumento de que a dependência é um problema de “falta” de inserção no capitalismo, apontando que é justamente o contrário, uma inserção forte e subordinada, que produz uma diferenciação entre “centros metropolitanos” e “centros coloniais” ou uma reprodução ampliada da dependência.

Nota-se que as chamadas ilhas de excelência no Brasil são como, partindo de Santos (1970), centros metropolitanos em meio à colônia-periferia. Essas universidades e institutos participam de projetos transnacionais, são reputadas internacionalmente e possuem acesso privilegiado a burocracia estatal. Constituem uma elite que reproduz, internamente, a assimetria entre metrópole e colônia. A conexão entre o valor da autonomia e da excelência, manifestada nas parcerias e reconhecimento das metrópoles aos centros-na-periferia, produz uma ordem social e uma PCT que captura os recursos públicos pelos grupos alinhados a “metrópole” (EUA e Europa do Norte, fundamentalmente). O projeto de inserção é apresentado, num nível ideológico, como o único possível.

Fernando Henrique Cardoso em “*Dependency and Development in Latin America*” (1982) traça a origem do debate desenvolvimentista na América Latina na teoria leninista sobre o imperialismo e internacionalização dos monopólios, segundo a qual o capitalismo teria passado, no século XIX, para um novo estágio de acumulação que inclui a cooptação da burocracia pública e a sujeição do capital industrial à lógica financeira. O imperialismo amplifica a desigualdade entre países, contudo, argumenta Cardoso (Ibid.), houve experiências de exploração mais complexas, com a mediação de burguesias locais que estruturaram, via política e Estado, mecanismos de proteção. Na América Latina os casos de Argentina e Brasil evidenciam ambiguidades: de um lado, independência política, de outro subordinação econômica – primeiro com o Império britânico, depois com os EUA; de um lado dependência de empréstimos internacionais, de outro exigência de garantias e controle nacional de propriedades e capitais. Essa ambiguidade viabilizou a modernização desses países através da penetração dos monopólios nos setores industriais, mais dinâmicos:

[...] há uma fragmentação estrutural interna que conecta as partes mais avançadas de suas economias ao sistema capitalista internacional. Separados, embora subordinados a esses setores avançados, os setores econômicos e sociais atrasados dos países dependentes passam a desempenhar o papel de ‘colônias internas’. A distância entre ambos provavelmente se ampliará, criando um tipo de dualismo, bastante distinto daquele imaginado por alguns autores não marxistas. Essa nova dualidade estrutural corresponde a uma espécie de diferenciação interna de uma mesma unidade. Ela resulta diretamente, é claro, da expansão capitalista e é funcional a essa expansão, na medida em que ajuda a manter os salários em níveis baixos e a diminuir as pressões políticas dentro do setor moderno, pois a posição social e econômica dos que pertencem a este último é sempre melhor em termos comparativos. (Cardoso, 1982, p.90. Tradução livre)

Cardoso (1982) destacou que a relação de dependência não exclui a possibilidade de prosperidade local e de alguma participação da burguesia nacional e da classe média na

economia mobilizada pelas grandes corporações estrangeiras, como um ‘parceiro júnior’. Contudo, essa participação não envolvia – e geralmente não envolve, até hoje – transferência de tecnologia de ponta e se limitava a assegurar um papel global para as corporações, além de escoar o capital acumulado nas economias metropolitanas para as periféricas através da transferência de indústrias intensivas em trabalho, atraindo com isso parte da classe trabalhadora e, implicitamente, fortalecendo uma burocracia-tecnocrática.

A experiência dos incentivos fiscais, particularmente da Lei de Informática ou Lei de TICs, lembra a análise de Cardoso (1982) no que ela tem de mais fundamental: a existência de prosperidade em alguns setores, com a criação de empregos qualificados, posições para engenharia-pesquisa e a presença de uma burguesia nacional inserida nas cadeias globais, protegida por algumas garantias no mercado interno. O ritmo de inovação, que nos falou Cardoso, não mudou substantivamente depois de quatro décadas. O capital estrangeiro imprime a velocidade e orienta os atores domésticos para uma agenda incremental, as vezes não muito diferente de uma engenharia de fábrica. Há institutos públicos e privados que fazem pesquisas complexas e certamente avançadas, mas isso não significa que alterem o desenho estrutural dessa relação que permanece praticamente inalterada. A expectativa de ascensão nas estruturas internas das multinacionais, até mesmo a conquista de parte da P&D global, sugere mobilidade relativa e potencial, mas com controle estratégico externo (via royalties, patentes, roadmaps).⁵⁵

A fragmentação estrutural é um obstáculo para uma maior legitimidade e força dos incentivos que estão orientados para a atração do capital estrangeiro e sua articulação com a burguesia nacional. Cabe destacar que houve avanços, de modo que essa mobilidade inclui exigências, como a redução das assimetrias regionais, com investimentos obrigatórios nas regiões nordeste e centro-oeste e fortalecimento de programas de interesse nacional, até mesmo a preocupação de alguns institutos e empresas com a agenda de inclusão e sustentabilidade. Juntas, essas garantias levam essa mobilidade para grupos sociais historicamente excluídos, como jovens de baixa-renda, mulheres, pessoas com deficiências, porém isso não têm sido documentado e, portanto, é invisível para o público. O impacto fica restrito aos arranjos locais,

⁵⁵ É preciso repensar os incentivos, de modo a superar (e não administrar) essa dualidade, caracterizada por um setor “moderno”, conectado com as metrópoles, ao lado de uma sociedade “atrasada”, sem o domínio tecnológico e educação científica. As iniciativas recentes, ao incluírem a instrumentalização médica, podem se beneficiar de um desenho explícito de política pública centrado na resolução de desafios tecnológicos que viabilizem um legado mais amplo – incluindo mercado, startups e empresas de capital nacional, mas também a sociedade civil e movimentos sociais – objetivando o fortalecimento dos bens públicos e a sustentabilidade financeira do Estado brasileiro.

fragmentados e não constitui uma força capaz de destravar de maneira espontânea, por exemplo, a consolidação de redes nacionais, consórcios e ações estruturais.

Pereira e Dathein (2017) contribuem com a análise das relações entre classes e alianças intercapitalistas, por meio de uma perspectiva neoschumpeteriana que reconhece a primazia histórica dos Estados na coprodução de mercados, através de instituições que viabilizam alianças entre empresas e poder político. O “atraso” brasileiro é entendido como modernização acompanhada de pouco desenvolvimento endógeno e no locus da inovação, segundo essa perspectiva as empresas, um aprendizado e conhecimento incompleto, sem “emparelhamento tecnológico”. No Brasil, na interpretação dos autores, houve duas alianças capitalistas na história recente. A primeira, entre 1950-1970, caracterizada pelo modo fordista, pela atração de investimento externo, industrializou o país mas não considerou o comportamento restritivo das multinacionais com o desenvolvimento tecnológico, resultando numa trajetória de baixa competitividade das empresas locais. A segunda, dos anos 1990-2000, com o objetivo de inserir as empresas locais nas cadeias globais, via exportações, mas deslocada das estratégias das multinacionais – fortalecidas pela conjuntura de abertura econômica e desregulamentação. Nessa última etapa, argumentam os autores (Ibid.), a burguesia nacional perdeu sua função, sobretudo nos setores mais dinâmicos, de modo que a promessa de competitividade a longo prazo continuou aspiracional. Os institutos de pesquisa de excelência, privados e públicos, inovam via parcerias com grandes empresas, mas com impacto muitas vezes restrito a uma única firma:

[...] as exportações de produtos de alta e média-alta intensidade tecnológica representavam 35,6% do total das exportações em 2000, passando para 22,6% em 2010, ao passo que as importações foram, no mesmo período, de 63,8% para 61,1% (Brasil, 2012). Nesse período, houve uma concentração do comércio intrafirma das empresas de capital estrangeiro (ECE - Total) no Brasil, passando as importações intrafirmas, no total das importações das ECE, de 44,03% em 1995 para 55,74% em 2005 (Banco Central do Brasil, 2010), consolidando a importância das estratégias corporativas (*global sourcing*) como forma de atualização tecnológica, em detrimento do desenvolvimento tecnológico local. (PEREIRA, DATHEIN, 2017, p.304)

Recentemente, recapitulando e atualizando o debate para a indústria 4.0, Leda Maria Paulani (2022) argumenta que o resultado na liberalização dos anos 1980 foi o enfraquecimento do poder público nas periferias. O centro corresponde à ideia de comando, onde a agenda de progresso é formulada e de onde se exerce a coordenação e se concentra aquilo que é estratégico (propriedade intelectual, por exemplo), geralmente num país economicamente e

tecnologicamente avançado.⁵⁶ Paulani (2022), seguindo José Luís Fiori (1995) e Bresser-Pereira (2010), chama a atenção para a formação de uma escola da dependência que foi muito influente na América Latina e Europa, apontando para como ela antecipou questões muito atuais, particularmente o domínio via conglomerados e o contexto de financeirização da inovação. A autora (Ibid.) argumenta que o progresso, na chamada terceira revolução industrial protagonizada pelas TICs, transforma as trajetórias de inserção subordinada, resultando em maiores assimetrias – no desenvolvimento tecnológico, no mercado de trabalho, na capacidade de investimento. Na visão dela, amparada em dados estruturais sobre o comércio internacional, está em curso um processo de regressão no Brasil, que dissolve o legado da modernização dependente e autoritária dos anos 1950-1970, afastando o país da possibilidade de uma acoplagem tecnológica, resultando numa dependência 4.0.

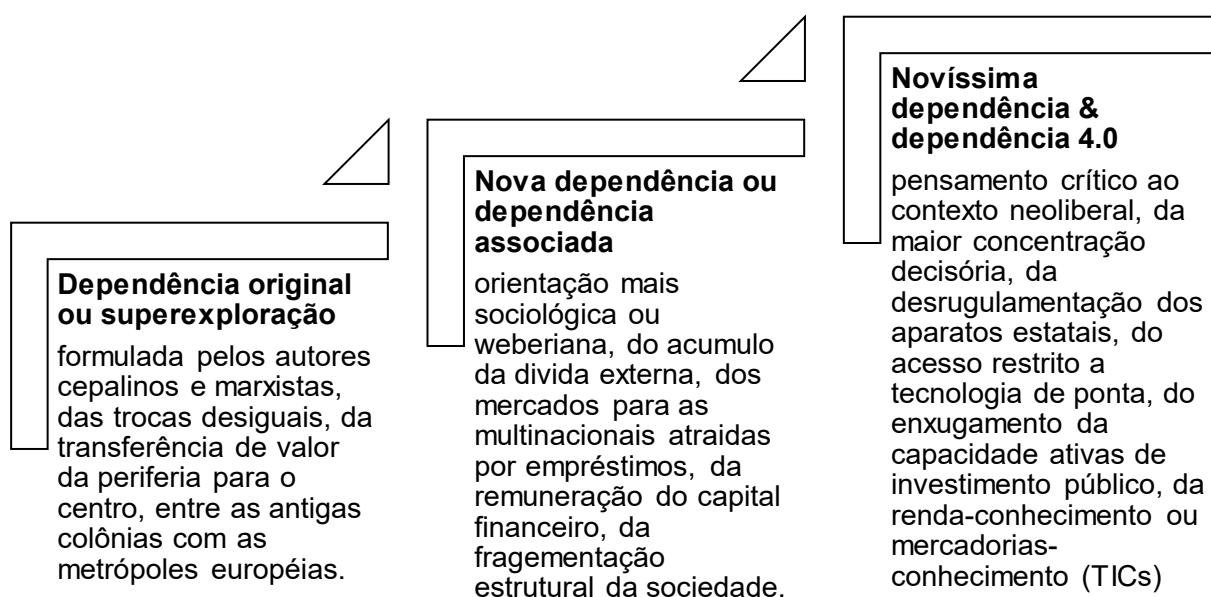


Figura 4 - Evolução dos temas e conceitos associados à escola da dependência.

Fonte: Paulani (2022). Elaboração própria.

A nova fase rentista-financeira, da dependência 4.0 descrita por Paulani (2022), reforça a interpretação da maioria dos analistas da PCT brasileira, de que o país se desenvolve dentro de um colete disciplinador – juros altos, metas fiscais que penalizam o investimento de longo prazo, captura política pelo lobby corporativo – que retira dela a potência de uma transformação

⁵⁶ Os precursores dessa formulação, os cepalinos (críticos aos economistas neoclássicos) e marxistas (munidos da leitura de Lenin sobre o imperialismo), entre os quais Raul Prebisch, Arghiri Emmanuel, Ruy Mauro Marini, Vânia Bambirra, Fernando Henrique Cardoso e Theotônio dos Santos são alguns dos mais ilustres pensadores, elaboraram conceitos-chave como subdesenvolvimento (Prebisch), troca desigual ou exploração magnificada nas periferias (Emmanuel), desenvolvimento do subdesenvolvimento e dialética da dependência (Marini), integração monopolista (Bambirra), entre outras noções que capturaram diferentes facetas do problema (PAULANI, 2022).

estrutural. Para a escola desenvolvimentista, transformação implica desafiar a lógica monopolista dos mercados globais, particularmente dos setores mais dinâmicos e intensivos em tecnologia, através de uma agenda que usufrua de algum grau de autonomia. Esta síntese ilumina a provocação defendida nesse trabalho, de que nas periferias o valor do controle é aspiracional. A ciência e tecnologia nacional não falha pela ausência de qualidade, mas pelo enquadramento que têm como premissa modos de captura e subordinação. Com efeito, o controle, fundamentado numa inovação profunda, no novo falar: disruptiva, é excepcional, não se materializa.

À luz do modelo de Lacey, a dependência revela uma assimetria entre fecundidade científica e significância social. Áreas altamente fecundas permanecem desconectadas do tecido produtivo, limitando sua contribuição para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil, porque falta um direcionamento - um objetivo ou meta mais ampla, de caráter nacional, relativa à um bem público. Na interpretação aqui defendida, os regimes de valor, sustentados subjetiva e coletivamente com um conjunto de noções sobre boa ciência e boa sociedade, forma um caleidoscópio – a unidade se manifesta nas peças formais, como Leis, que visam servir de parâmetro para o ordenamento social sancionado pelo poder político e econômico, na prática as noções são instáveis. No Brasil nota-se como a excelência foi mobilizada para legitimar a priorização num cenário de crise fiscal, dos anos 90, dos grupos mais produtivos e competitivos em setores estratégicos. Contudo, ao mesmo tempo, o impacto dessa priorização permaneceu pequeno. Por quê?

5.1.1. Anos 90 – hegemonia liberal

A abertura comercial, a desregulamentação e as privatizações, celebradas como o início da primavera de uma maior competitividade nacional, resultaram num longo inverno de desarticulação. Arlindo Villaschi (2005) fez uma análise pertinente da formação do sistema nacional de inovação. Na verdade da sua não-constituição, dada a conjuntura desfavorável de retração do investimento público em P&D, de contração dos setores mais dinâmicos da indústria nacional pelo processo de desnacionalização e fortalecimento da direção estrangeira, substituição das empresas nacionais por subsidiárias, de inibição da inovação local e enfraquecimento dos arranjos produtivos.

Em outras palavras, um diagnóstico pessimista emerge dos efeitos da liberalização. O capital estrangeiro ampliou suas capacidades de influência dentro de lógicas corporativas globais que fazem fluir os resultados da P&D das periferias para os centros-matrizes, com isso

bloqueando a possibilidade de concorrentes locais. Uma inibição que, na prática, implica fraca socialização do conhecimento científico e comunidades de pesquisa que se assemelham a enclaves, pois não se articulam no nível sistêmico e estratégico. Dado que o principal resultado esperado, a tecnologia para o mercado (inovação), exige práticas extensas de codificação do conhecimento para viabilizar a sua circulação e utilização a nível global, as iniciativas permanecem aspiracionais e destituídas de intensidade. Exemplo dessa característica aspiracional no mercado de trabalho é a baixa proporção no Brasil de engenheiros pós-graduados na academia e nas empresas privadas. Nota-se uma acomodação que desestimula a participação de engenheiros mestres e doutores, seja porque as universidades brasileiras estão presas a um modelo disciplinar declinante, incapaz de engajar as gerações mais jovens, ou porque as empresas são céticas sobre o valor do conhecimento acadêmico para o sucesso comercial, preferindo importações e adaptações pontuais.⁵⁷

Na avaliação de Villaschi as estratégias brasileiras de inovação são defensivas e o uso dos conceitos de sociedade da informação e digitalização são no máximo capazes de conservar a razoabilidade de competências em algumas áreas. crítica as reedições de políticas que se provaram incapazes de produzir um reposicionamento, muito comuns, para não dizer a norma. Além disso, destaca a pouca capacidade de orientação estatal, proporcional à força das multinacionais estrangeiras que se avolumou com a liberalização. Por essa razão, falharam em promover com agilidade os novos paradigmas tecno-econômicos no Brasil. Villaschi (2005), cita um trabalho anterior, de sua autoria, publicado em 1992, relatando que nos anos 1980 a expectativa brasileira com o setor eletrônico, aposta estratégica do país desde a modernização autoritária, era otimista porque havia um arranjo pujante entre empresas estatais e laboratórios públicos, com a participação de empresas estrangeiras, o que indicava para uma inserção tecnológica mais autônoma do Brasil. Contudo, isso não se tornou uma realidade:

[...] a liberalização do comércio e o fluxo de capitais não trouxeram investimentos externos produtivos para áreas em que novos conhecimentos são essenciais. No domínio tecnológico, o compromisso político com o déficit público tem implicado corte nos gastos em áreas cruciais para a inovação em

⁵⁷ No campo das interfaces cérebro-computador, por exemplo, um interlocutor que leciona numa universidade tradicionalíssima em engenharia, no sudeste, um “CAPES 7”, relatou a dificuldade em manter e atrair os melhores estudantes para a pós-graduação, o que tem resultado numa certa paralisia de sua agenda de pesquisa em ICC. Essa narrativa é comum. No campo das TICs, por exemplo, é uma preocupação generalizada, particularmente para os programas mais tradicionais. Docentes relatam o “assédio” que os melhores estudantes de graduação em engenharias recebem das empresas estrangeiras, antes mesmo da conclusão dos cursos, com salários pagos em dólar, muito atrativos e superiores as bolsas. Por um lado o assédio expressa a qualidade da formação dada, por outro revela fragilidade da comunidade de pesquisa, que não consegue converter o prestígio das “ilhas de excelência” em motivos para que os pesquisadores se formem, fiquem e inovem por própria.

tempos de aprendizado econômico educação, pesquisa e desenvolvimento (P&D), etc. Ademais, no domínio institucional, uma forte crença nas forças do mercado por parte das autoridades governamentais levou o país à adoção de "não-políticas" industriais e tecnológicas como sua política de desenvolvimento econômico. (VILLASCHI, 2005, p.4)

Os diagnósticos recorrentes – insularidade da comunidade científica (torre de marfim), dependência tecnológica da indústria nacional, fragilidade institucional e dificuldade em sustentar estratégias de longo prazo – ilustram como, no contexto brasileiro, a fecundidade científica coexiste com baixa significância social. Tais resultados apontam que, nas periferias, as “condições de contorno” impõem negatividades sistêmicas: escassez de capital paciente, assimetrias de poder e inserção subordinada nas cadeias de valor globais. A política de C&T brasileira, atravessada por ciclos curtos de financiamento e pela condição periférica do país, produz uma estrutura temporal assimétrica com o centro, na qual os projetos domésticos de curta duração contrastam com horizontes decenais nas economias desenvolvidas. Essa hierarquia de riscos confina a colaboração em P&D incremental de baixa intensidade. Quando tais parcerias avançam para inovação genuína, é porque contam com apoio estatal robusto. Resulta daí um triângulo assimétrico formado de: (i) boa ciência: grupos de pesquisa reconhecidos pela capacidade de resolver problemas complexos; (ii) mercado doméstico de alta tecnologia: incipiente e rapidamente capturado por soluções estrangeiras; (iii) *Big Tech* – plataformas: que absorvem valor e controlam padrões tecnológicos.

5.2. A inflexão estrutural que se avizinhava, mas não ocorreu e se afasta

Num breve artigo analítico, o Ministro de Ciência e Tecnologia, José Israel Vargas (1997) destacava a inserção brasileira nas cadeias globais de meados de 1990, com superavit na balança comercial de produtos de alto conteúdo tecnológico (que se esgotou), os objetivos nobres da PCT, como o objetivo social do capital, com a sua função nobre de patrocinar a inovação de ponta (que se enfraqueceu) e a cooperação científica entre países em desenvolvimento (secundária se comparada à da com os desenvolvidos). A situação hoje é muito diferente daquela. A competitividade da indústria brasileira recuou várias posições frente o avanço da Ásia, intensificando profundamente uma distância que em 1980, segundo dados de Vargas (Ibid.) não era tão grande. A liderança no Brasil na América Latina também arrefeceu, já que, diferentemente do Brasil, o México preservou e avançou na complexidade econômica. Em 1989, o Brasil registrou superávit de US\$ 664 milhões em comércio de alta tecnologia, único caso positivo da América Latina. Trinta anos depois, só o déficit em instrumentos para ciências médicas atingiu US\$ 550 milhões (2021).

O contraste evidencia que os ganhos dos anos 1980 estavam alicerçados em políticas que não resistiram à abertura comercial dos anos 1990. Outro ponto de não realização foi a tão sonhada meta dos 2% do Produto Interno Bruto (PIB) para C&T que estava ali exortada, que permanece quase três décadas depois aspiracional (o esforço brasileiro está em torno de 1,1% do PIB). O mosaico revela um padrão recorrente: momentos de otimismo e avanços, refletidos numa alta de investimento e inserção global, seguidos por recuos quando políticas cessam ou quando os incentivos não exigem contrapartidas aprofundadas.

Os anos 2000 foi uma década de avanços, particularmente do arcabouço jurídico e formulação de planos e diretrizes, para trazer segurança e facilitar as parcerias entre universidades e empresas, inovação e empreendedorismo. Matias-Pereira e Kriglianskas (2005) relatam o amadurecimento institucional do final dos anos 1990 e do início dos anos 2000, com a formulação de diretrizes, desafios estruturais e uma legislação moderna, que promove um ambiente favorável para “empresas emergentes” (startups) e organizações de suporte, como a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). A Lei de Inovação (10.973/2004) foi um marco importante, pois com ela o Estado autorizou o compartilhamento de infraestrutura pública de pesquisa e liberou o pesquisador (servidor) para participar da inovação de maneira remunerada. Contudo, os autores (Ibid.) apontavam que, apesar da base forte em ciência, a interação com o setor produtivo é fraca, seja porque a academia resistiria as parcerias, seja porque as empresas contratam poucos pesquisadores e não dispõem de núcleo interno de P&D.

A intensidade da inovação nacional em 2004 é muito semelhante à de hoje, havia apenas 4% das empresas introduzido um novo produto, em 2022 esse número foi de 5%. Em 2004 67% das empresas consideravam inovação pouco importante, em 2022 60% delas. (ANPEI, 2004; PINTEC, 2022). A manutenção desses patamares evidencia a persistente inércia empresarial no Brasil.

Garcia e Roselino (2004) corroboram com o argumento de Villaschi (2005) ao avaliar os resultados do primeiro ciclo da Lei de Informática (1993-1999), hoje Lei de TICs, um dos principais instrumentos de apoio a inovação no Brasil. Os autores criticam o desmantelamento do sistema Telebrás, que nos anos 1980 logrou, através de institutos públicos como o CPqD, privatizado nos anos 1990, o desenvolvimento de tecnologias nacionais em telecomunicações. Reconhecem a importância da Lei, mas destacam a fragilidade dos elementos virtuosos capazes de capacitar, gerar valor localmente e resultar em pontos de irreversibilidade relevantes. Na visão deles, o ônus do esforço tecnológico recairia, através do incentivo fiscal, integralmente

no Estado, ao passo que as empresas beneficiárias dariam pouco valor estratégico para a P&D realizada no Brasil. Motivadas por um interesse contábil, a P&D das multinacionais, nesse ciclo, teria sido praticamente estéril, sem transbordamentos, sem investimentos acima do que a Lei exigia para a concessão dos incentivos fiscais.

No ano de 1990 ocorreu uma reforma administrativa que transformou a antes poderosa SEI (Secretaria Especial de Informática) em um "esvaziado" departamento do MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia). Este evento representou o início da flexibilização e da posterior desmobilização da proteção à indústria nacional. O fim efetivo da reserva, em outubro de 1992, deixou o conjunto de atividades do complexo eletrônico sem um arcabouço institucional mínimo em relação à fabricação, desenvolvimento e comercialização de bens e serviços. (GARCIA; ROSELINO, 2004, p.178, apud. Tigre, 1993)

Desde meados de 2019 a Lei de TICs, após questionamentos da OMC liderados pelo Japão e União Europeia que acusavam o Brasil de concorrência desleal, prevê créditos financeiros para a P&D realizada ou apoiada pelas empresas beneficiárias, majoritariamente multinacionais e algumas grandes nacionais. Antes o benefício incidia diretamente no produto industrializado, com a redução dos impostos, hoje ele é indireto, não se dá de forma automática, ocorre mediante a comprovação da P&D ou participação em outros mecanismos – como repasses para o FNDCT (Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) ou para os PPIs (Programas Prioritários de Interesse Nacional). A mudança da isenção para o crédito financeiro foi feita de maneira compensatória, de modo que o crédito preservasse a antiga função contábil, reduzindo a estrutura de custos. Segundo dados do MCTI (2024), disponível em painel no site oficial da Lei de TICs, a soma dos créditos fiscais entre 2020 e 2014 alcançou quase 32 bilhões de reais, enquanto o empenho em P&D foi de 12 bilhões, uma razão de 2,7:1 que evidencia uma assimetria: o país incentiva mais do que recebe em capacitação, reafirmando a tese de Garcia e Rosalino (2004).

Numa revisão recente, Santos et al (2020) a partir da sondagem de inovação da ABDI traçam o impacto dos incentivos nas grandes empresas. Os autores iniciam a argumentação apontando o efeito esperado de intensificação dos investimentos é inconclusivo ou pouco eficaz. Na melhor das hipóteses, intensificam as atividades das empresas que já inovariam. De fato, esse destaque é muito usual nas avaliações dos incentivos fiscais, com algumas apontando que, em alguns momentos (entre 2010-2015), ocorreu justamente o contrário: a substituição do investimento privado pelo incentivo. Ou seja, apesar dos esforços, não teriam alterado a percepção de risco privado e sim a estrutura de custos, influenciando menos sobre a decisão de P&D e mais na absorção de padrões e atualização de máquinas e equipamentos. Outros pontos

críticos incluem poucos postos de trabalho para P&D interna, especialmente para mestres, doutores e concentração dos incentivos nas grandes empresas e multinacionais.

Com um olhar concentrado na universidade, ator responsável pela maior parte da pesquisa no Brasil, Arbix e Consoni (2010) traçam um mapa da sua evolução. Resumidamente, reconhecem que houve avanços no marco legal de proteção da PI e transferência de tecnologia, mas que, mesmo assim, persiste uma postura defensiva da academia, contra o dirigismo estatal e captura privada da pesquisa pública, que raramente contribui com o desenvolvimento social e avanço tecnológico das empresas nacionais. Arbix e Consoni (Ibid.) argumentam que o desenvolvimento da Ásia, em direção a equiparação tecnológica, evidencia desde os anos 1970 a fragilidade da posição defensiva, já que, ao contrário, as universidades dos emergentes asiáticos ganharam força com a agenda da inovação. Enquanto isso, no Brasil teria persistido uma orientação excessivamente linear que não legou tecnologia endógena para a nascente indústria brasileira. Os anos 1990 e 2000 foram marcados por uma diversidade de novas diretrizes, instrumentos e programas, que foram capazes de transformar essa lógica resistiva para uma mais proativa. Contudo, na visão dos autores:

[...] o setor público, as empresas brasileiras e as universidades ainda se encontram envolvidos em um processo de aprendizagem que se mostra lento, incremental e de longo prazo. A educação universitária, a pesquisa básica e a produção industrial caminharam por muitas décadas sem diálogo e apenas com pontos de contato ocasionais. Cada parte seguiu seu curso praticamente de forma autônoma, com seus vícios e virtudes. Essa fragmentação, com pesadas consequências em termos de eficiência, nunca deixou de suscitar dúvidas sobre a existência real de um sistema nacional de inovação, como tradicionalmente apontado por Lundvall (1988) e Nelson (1996, 2004). (ARBIX; CONSONI, 2010, p.220)

Oliveira (ibid.) destacou o crescimento insular da comunidade de pesquisa, Pelaez et al. (2017) enfatizaram a volatilidade ou instabilidade da agenda de C&T, entendida como descontinuidade periódica e falta de alinhamento, com ciclos de avanço e retrocesso, desde as crises dos anos 1970-1980 e como enfraqueceram as estratégias de enfoque estrutural – entre as quais a substituição de importações foi a primeira. No mapeamento dessas descontinuidades, os autores identificam três fases principais:

- (i) 1950-1970: substituição de importações sob a doutrina de Segurança Nacional e Desenvolvimento, que se esgotou com a crise do petróleo e da dívida pública;
- (ii) 1980-1990: ajuste liberal, privatizações e retração de investimentos públicos, com a expectativa que o capital privado estrangeiro pudesse amortecer esse ajuste pela substituição, o país deixou de crescer e a renda estagnou;
- (iii) 2000-2010: retomada, via ciclos de expansão pontuais, de recursos via Fundos Setoriais e incentivo à cooperação universidade-empresa por novos mecanismos jurídicos e

organizacionais, inclusive priorização de setores intensivos e tecnologia, como semicondutores.

O MCT, atual MCTI, foi criado em 1985 e trouxe as marcas dessas fases. Segundo Pealez et al. (2017) até o final dos anos 90, com a criação dos Fundos Setoriais (FS), não havia abertura significativa para planejamento. Isso, somado aos conflitos internos da comunidade científica, nas universidades e programas de pós-graduação, concentrada nas regiões Sudeste e Sul, resultou em crises institucionais e a dissolução do MCT em 1989. Apenas em 1992 foi restabelecido, mas num ambiente de forte restrição financeira, que obrigaram os gestores a difícil decisão de preservar aquilo que o país tinha de melhor, ‘as joias da coroa’, os grupos ‘excelentes’. Esse cenário só muda, mas não sem dificuldades, com os repasses obrigatórios das grandes empresas, em setores regulados, para os Fundos Setoriais, que trouxeram maior estabilidade e capacidade de ação do poder público. Apesar das dificuldades econômicas dos anos 1990, Balbachevchy (2017) observa avanços na governança da pesquisa no Brasil nesse período, com maior coordenação, monitoramento e novidade nas políticas públicas, particularmente para os institutos nacionais.

Boa parte das indústrias atraídas para o país entre os anos 1950 e 1990 eram tecnologicamente defasadas, exigindo baixo esforço de P&D local, fato que se liga com o ceticismo do mercado quanto à capacidade estatal de coordenação, reforçando práticas gerenciais de curto prazo incapazes de promover mudanças substantivas na estrutura econômica e social do país. Já os esforços mais recentes, para estimular setores intensivos, como eletrônica e semicondutores, lograram êxito – atração de multinacionais e postos de trabalho, constituição de arranjos locais com algumas startups nacionais, criação de Design Houses e encapsulamento de memória no Brasil, principalmente – porém são poucos os projetos inovadores a nível global, com maior componente de risco tecnológico. Isso se deve a dois fatores interligados. Primeiro a estrutura das multinacionais é avessa a transferência das atividades ‘core’ para as filiais, é difícil ascender na estrutura interna, de modo a capturar a “P&D global”. Os casos positivos são exceções à regra.

A burocracia pública teme que, ao incorporar mecanismos que vinculem investimento a intensidade, as sedes optem (na verdade, uma retaliação) por transferir a P&D local, feita no Brasil, de geralmente de média complexidade, para países em desenvolvimento com instrumentos mas flexíveis e menos exigentes, com um custo igual ou menor ao brasileiro. Com efeito, nota-se um padrão geral na P&D apoiada pelos antigos incentivos, agora créditos fiscais: a P&D é de curto prazo (até 2 anos), raramente componente do ‘core’ tecnológico e resiste a

uma agenda mais arriscada - tanto dentro, nos embates entre filiais-sede, quanto fora, de uma decisão tomada unilateralmente pelo governo (retaliação).⁵⁸

Timothy Sturgeon et al. (2013) elaboraram um panorama setorial para o relatório encomendado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) sobre as cadeias globais de valor para aeroespacial, dispositivos médicos e eletrônica. Também apontam para a liderança exercida pelas empresas multinacionais e a associação delas com firmas locais especializadas em funções de menor valor agregado. Os nós mais complexos dessas cadeias estão na P&D e manufatura de equipamentos avançados, pois se relacionam diretamente com os padrões de qualidade e normas que caracterizam mercados mais sofisticados. Os autores descrevem o contexto brasileiro, para esses setores, como:

- atrativo sob a perspectiva do mercado interno;
- forte, no tocante à base industrial, legada da política de substituição de importações e com alguns “bolsões de excelência”;
- barato, em termos de mão de obra, quando comparado aos países desenvolvidos, contudo caro frente a outros países em desenvolvimento;
- pouco competitivo, no tocante à relação preços-custos, particularmente na logística e importação, prejudicando mais as empresas de capital nacional;
- lento, no tocante à burocracia pública necessária para acessar serviços como reconhecimento de propriedade intelectual (PI), certificações da Anvisa e reconhecimento do cumprimento do processo produtivo básico (PPB) – condição dos incentivos fiscais;
- isolado, no que concerne as pequenas e médias empresas (PMEs), que não participam do mercado global;
- politicamente instável e sujeito ao lobby das multinacionais, resultando em políticas que pouco impactam as PMEs nacionais;
- deslocado na conjuntura geopolítica, frente à emergência da China como a primeira opção das empresas americanas e europeias – que ancorou a participação do capital estrangeiro às políticas de transferência para empresas locais – e crescentemente do México – que se tornou o principal hub de produtos manufaturados da América Latina, dados os salários baixos.

Um entrave importante, criticam Pelaez et al. (2017), é o imaginário linear de desenvolvimento tecnológico de pesquisa básica, na universidade, leva a inovação na empresa, por prejudicar a reflexividade e ajustes rápidos e criativos na prática, em problemas reais. Esse desajuste tende a se tornar mais crítico, tendo em vista a regressão da participação da indústria brasileira na economia nacional e a falha do Estado em promover maior bem-estar social,

⁵⁸ Essa afirmação consolida a análise do autor sobre o complexo eletroeletrônico brasileiro. Ver nota 74.

reiterando um processo de esvaziamento da PCT que favorecem um gerencialismo pouco capaz na promoção de uma mudança estrutural. Elisa Klüger (2015), sob a ótica dos estudos organizacionais, complementa o quadro ao discutir o caráter ambivalente do capitalismo brasileiro. Para a autora, a elite tecnoburocrática opera entre a lógica predatória do mercado e a retórica da transformação social, gerando um ambiente incompleto, composto por ilhas de excelência competentes, porém pouco competitivas. A autora evidencia a tensão entre competência técnica e política, bem como a ascensão, nos anos 1990-2000, do discurso da neutralidade técnica. O ideal de eficiência passou a sobrepor-se à formulação autônoma de diretrizes.

Arbix e Miranda (2017) argumentam que, na década de 2010, a regressão democrática e as interrupções sucessivas das políticas de inovação resultaram numa “tragédia recorrente” de oportunidades desperdiçadas para a indústria nacional, refletidas em baixa competitividade e produtividade estagnada desde os anos 1970. Embora a ciência brasileira alcance níveis elevados de fecundidade, como publicação de artigos em periódicos internacionais, a indústria “responde, por espasmos” às iniciativas governamentais, gerando escassos postos para trabalhadores altamente qualificados e evidenciando a desconexão entre o sistema de CTI e o universo produtivo. Segundo os autores, iniciativas da década de 2000 possuíam potencial estrutural, porém foram descontinuadas ou concebidas de modo incompleto, concentrando-se em linhas de crédito com baixo risco tecnológico, que não enfrentaram o confinamento da indústria ao mercado interno nem a transição para a digitalização e a manufatura avançada. Em outras palavras, políticas reativas, que “reeditaram” o passado e não anteciparam movimentos que poucos anos depois (como a indústria 4.0) ganharam afluência, status de megatendências. Combinadas à participação privada restrita, com baixa propensão a inovação radical, estas políticas reforçaram a dependência tecnológica e a vulnerabilidade diante da competição global em setores mais sofisticados.

A baixa coordenação, associada à ausência de uma visão de futuro mobilizadora, releva a luz do modelo dialético, o grau de restrição, nas periferias, da relação entre fecundidade e significância. A ligação, vinda de lado, dos valores sociais de controle, competitividade e eficiência com, do outro, os valores cognitivos da autonomia, neutralidade e excelência (da comunidade científica), mesmo que sancionada por Leis, planos, estratégias, não resultam, na maioria das vezes, em maior desenvolvimento e fortalecimento dos bens públicos. A tendência estrutural, quando comparada a trajetórias de outros países, é de regressão ou estagnação apesar dos esforços, daí a “tragédia recorrente”. Além do gerencialismo, há a persistente baixa

coordenação dos *policy makers*, que mesmo quando próximos aos *stakeholders* os formuladores perdem de vista os objetivos de longo-prazo, a visão de país explícita e implícita, raramente discutida com seriedade e compromisso nos espaços de deliberação.

Barcelos e Mocelin (2016) também apresentam uma análise histórica da PCT brasileira, considerando a relação entre ciência e mercado, sob uma ótica mais otimista. Os autores relatam que haveria em curso uma mudança cultural nas universidades, com professores de perfil mais empreendedor e criação de ambientes de inovação como incubadoras e parques – apesar dos empecilhos no sistema de recompensa, fundamentalmente acadêmico e da fragilidade das instituições. Ou seja, valores e atitudes mais abertas ao mercado estariam ganhando força, resultando numa identificação híbrida, no qual o professor-empendedor busca compatibilizar geração de tecnologia com pesquisa. Corroborando com Matias-Pereira e Kriglianskas (2005) sobre os avanços legais-institucionais que amparam essa mudança, como os Fundos Setoriais (1999), o reconhecimento da inovação como objetivo explícito nos anos 2000 (PICTE, 2003; Lei de Inovação, 2004; Lei do Bem, 2005; PACTI, 2007) e mais recentemente, em 2016, a consolidação de um marco legal unificado. A coexistência de posições revela a heterogeneidade da comunidade de pesquisa, o perfil híbrido descrito por Barcelos e Mocelin (Ibid.) convive com um perfil mais acadêmico, interessado na pesquisa básica e com pouca interação com empresas.

Chagas et al. (2015) realizaram um esforço de análise semelhante, sob a ótica da dependência, para a principal política industrial desde a ditadura militar, o PAC (Programa de Aceleração ao Crescimento). O Brasil, tal como outros países da América Latina, passaram por um ajuste econômico nos 1980-1990 e um consentimento dos grupos dominantes, a burguesia local, para a condução pelo mercado, pela abertura a globalização. Em meados de 2007 o PAC, prometia uma inflexão estrutural, em direção a um país de classe média e concentrou esforços na construção civil e setor energético. Ao mesmo tempo, com o boom das exportações de commodities e as divisas comerciais que gerou, houve um reforço do poder político dos setores extrativistas, financeirizados e globalizados, que resistiram a direção estatal, condescendentes com o aprofundamento da divisão tecnológica e uma estrutura produtiva divorciada das necessidades sociais.

Giesteira et al. (2024), ao analisar a política industrial brasileira e o objetivo de estimular os setores mais dinâmicos, relatam uma trajetória de baixa coordenação entre instrumentos e marginalização, no contexto neoliberal dos anos 1980 e 1990, da intervenção estatal. Contudo,

após meados de 2005, nota-se uma boa performance das empresas que fazem uso combinado entre BNDES, Finep e compras públicas, apesar de não ter sido capaz de reverter a trajetória de desindustrialização do país. Isso se deve, argumentam os autores, pelo fato de as políticas recentes operarem num ambiente dissonante no plano macroeconômico e da falta de foco na inovação, em pró de estratégias protecionistas para setores de menor complexidade.⁵⁹

É interessante, pelo contraste que viabiliza, o tom otimista da conclusão do relatório da CNI, de 2013, particularmente com a política de semicondutores, que desde 2005 foi objeto de diferentes programas, numa continuidade que parecia indicar para a emergência de empresas nacionais, como a SIX semicondutores (que nunca saiu do papel); a HT Micron, hoje do grupo coreano Hana, mas que começou como uma joint venture; a CEITEC, empresa estatal, objeto de muitas controvérsias. A expectativa era a de que a SIX iria manufaturar chips e dispositivos híbridos para a automação industrial e dispositivos médicos, para uma carteira diversificada de clientes locais, em lotes menores, com a possibilidade de expansão global a longo prazo. A SIX foi um fracasso, tornou-se um passivo jurídico e político que se prefere esquecer. A CEITEC resistiu aos solavancos e foi objeto de desconfiança, inclusive tentativas de privatizá-la. A HT, comercialmente bem-sucedida, hoje está sob controle do grupo Hana, que tal como as outras multinacionais é bem protetiva no tocante à P&D que está no seu core. Há outros casos, no segmento da fotônica, com a mesma trajetória de aquisição.

5.2.1. A interrupção da dialética é norma e não uma anomalia

A ambivalência torna-se nítida nas aquisições de empresas nacionais de tecnologia: reconhecimento de competência, sim, mas também incapacidade de reter os centros decisórios. Essa interrupção, arriscando uma aproximação, foi descrita por Dagnino (2014) como anomalia, o comportamento divergente da periferia. A interpretação aqui proposta inverte essa tese: *a interrupção é a norma da periferia, a dialética que é anômala*. A dificuldade de explicar a capacidade excepcional de inovação nas periferias, meio a condições estruturalmente desfavoráveis, é proporcional à fragilidade dos arranjos institucionais e políticos que a sustentam. Contudo, Dagnino (Ibid.) acertou no diagnóstico ao apontar que, no caso da PCT brasileira, houve nas tentativas de superação dessa anomalia – ou o desejo de torná-la, a inovação, o paradigma hegemônico – uma falta de coerência entre projeto político (a soberania tecnológica) e a agenda (de fundo liberal). Dagnino desenvolve essa crítica desde os anos 1990

⁵⁹ Instrumentos e insumos médicos, de alta intensidade tecnológica, possuem maior relação com os instrumentos reembolsáveis da Finep, e apresentam potencial exportador, contudo o Pessoal Ocupado em Atividades Técnicas (POTEC) por esses setores não é um destaque, quando comparado a outros (GIESTEIRA et al., 2024).

e expandiu o alcance da anomalia inclusive para os países centrais, nos quais se apresentaria atenuada. Em artigo de 2006, “*A comunidade de pesquisa e a PCT: olhando para os países avançados*”, o autor caracteriza o centro pelas condições superlativas de informação, pesquisadores e recursos (financeiros e infraestrutura), mas suscetível a problemas geralmente atribuídos a periferia, como burocracia, ineficiência e lentidão, gerando comunidades de perfil híbrido.

Em todo mundo são os cientistas e pesquisadores, particularmente os que atuam em grandes universidades, que formulam a PCT, um legado que o contrato social do pós-guerra deixou. A força dessa influência estaria em mutação, dada a adesão por parte dessa comunidade aos ideias de inovação. Contudo, o processo decisório mudou pouco, inclusive nos centros. A comunidade de pesquisa é o ator principal, é ela quem ativa as parcerias privadas, raramente é o contrário. Dagnino (2014) argumenta que isso se relaciona com algumas ramificações na comunidade de pesquisa: de um lado, uma visão tecno-centrada da ciência, que objetiva a aplicação pela empresa da inovação – dessa visão deriva o desejo emulador da comunidade periférica, inclusive dos segmentos mais críticos, de esquerda. De outro, uma visão emancipadora, um tanto teleológica, de que a tecnologia leva a superação das formas antigas de poder e dominação, que são forças revolucionárias – seja a transformação do capitalismo ou a sua superação –, característica das formulações cepalinas e marxistas do desenvolvimento. A influência dessa visão produziu industrialização, mas não legou autonomia tecnológica. A comunidade de pesquisa, como ator hegemônico da PCT, atuaria encobertando relações de hegemonia frente o domínio do centro (a ser emulado) e o fracasso da periferia (a ser esquecido, omitido), reproduzindo com isso desigualdades sociais.

Em outras palavras, a anomalia implica uma forma de disputa política e negociação em que os interesses da sociedade não são manifestados. A PCT se restringe, na melhor das hipóteses, a emulação da tecnociência nas empresas locais, o que geralmente é uma meta irrealista, pois o comportamento avesso ao risco da periferia é uma espécie de espelho da concentração de competências e inovação no centro.

No Brasil são os professores-pesquisadores buscam as empresas, preferencialmente grandes e multinacionais, colocando suas competências e os grupos de pesquisa à disposição para a realizar projetos de curto prazo, para conquistar a confiança e os recursos para crescer – geralmente com função substitutiva, dada a escassez dos instrumentos tradicionais como bolsas, recursos para infraestrutura e equipamentos. Conforme essa parceria avança e os projetos se

tornam mais complexos ou próximos ao core da empresa, a parceria passa implicar a posição de que a propriedade intelectual (PI) é da empresa-cliente, de modo a neutralizar eventuais disputas e assegurar a sustentabilidade dessa confiança. São poucos os grupos e institutos com uma posição ativa de defesa da PI, com a capacidade de romper com o padrão “parceiro júnior” ou “lado fraco da mesa”. Quando isso ocorre, depende de uma conjunção de fatores que podem ser, do mais comum para o menos comum:

- (i) uma exigência do financiador público, de que a parceria implique coparticipação, com a possibilidade de *enforcement*;
- (ii) a capacidade de negociar o licenciamento para setores não concorrentes, quando o grupo ou instituto, dada a sua antiguidade e conhecimento, se torna de difícil substituição;
- (iii) a capacidade de exigir a coparticipação ou ‘dizer não’, quando o grupo ou instituto é tão grande e bem equipado, a ponto de se tornar um hub setorial;
- (iv) a capacidade de conservar uma agenda de P&D e um portfólio próprio, quando o grupo ou instituto têm valor estratégico para a PCT nacional, com acesso diferenciado a instrumentos como não-reembolsáveis para inovação de alto risco, por isso mais autônomos. Contudo, predomina-se o voluntarismo: impulso da comunidade de pesquisa em fazer o contato, com flexibilidade para sacrificar parte da pesquisa para assegurar os contratos.

O histórico de volatilidade da política de CTI e industrial, com ciclos rápidos de otimismo e pessimismo, revela a coexistência de fecundidade e significância. Interrupção não exige ausência e sim a percepção de descontinuidade, de movimentos desorganizadores que neutralizam o reforço mútuo. As ilhas de excelência nas periferias são centros (centros-na-periferia) onde a fecundidade é comparável ou similar a existente nos polos estrangeiros mais dinâmicos e atrelados com o capitalismo (e militarismo, já que muitas das aplicações são de uso dual). Centro e centro-na-periferia se assemelham no tocante à formação e produção científica e estão mais próximos de uma ‘classe global’ e são para a periferia (polo onde essa fecundidade é menor ou sequer é comparada, invisíveis) um exemplo de estratégia a ser replicada. Ocorre que, apesar de fecundidade equipável, há uma subordinação que afeta a significância e consequentemente o alcance da dialética.

A inserção dos países no capitalismo, bem como as suas relações geopolíticas, são extremamente desiguais. A realização completa da aspiração de inserção sempre implica uma reconfiguração das posições, de periferias que se transformam em centros, capazes de rivalizar e competir no controle exercido (significância), pela difusão e consumo de tecnologia e inovação, deslocando o centro para a periferia (periferia-no-centro). Inversões dessa natureza ocorrem com diferentes alcances, alguns casos são setoriais (Brasil, com a Petrobrás e EMBRAER) outros estruturais (China, que rivaliza com os EUA nas tecnologias emergentes).

As dinâmicas internas (centro-na-periferia e periferia-no-centro) são realidades móveis, as quais disputas do campo científico moldam fronteiras cognitivas (critérios de avaliação) e sociais (critérios de impacto). Nota-se, como padrão das periferias (inclusive da periferia-no-centro, como a Europa sob alguns aspectos) a percepção de descompasso entre avaliação da ciência e impacto. No Brasil as causas elencadas passam pela dependência histórica (inserção no capitalismo) e volatilidade da PCT (o que indica uma baixa legitimidade nos assuntos de Estado).

A dificuldade de reverter a dependência demanda tempo e visão para o todo. As tentativas de reforço mútuo no geral têm sido setoriais e algumas delas de fato projetaram o Brasil como desenvolvedor de tecnologia para o mundo. O setor da saúde é um deles. Contudo, o sucesso comercial das empresas e institutos nacionais se restringe ao mercado doméstico, a capacidade de manufatura e financiamento da inovação enfrenta entraves diversificados, que por sua vez reiteram a dependência. O CEIS representa uma dessas tentativas, com a diferença de que propõe deliberadamente uma nova configuração que combina a aspiração de controle, característica da tecnociência, com sua orientação para o mercado global, com os valores da inclusão e universalização do SUS (Sistema Único de Saúde).

5.2.2. *CEIS – Complexo Econômico-Industrial de Saúde*

Casos de sucesso convivem com desarticulação crônica, duplicação e lacunas que a literatura menciona abundantemente. A consequência é a tendência de tentar preservar estruturas de montagem que estão em transformação, as vezes declinantes, vide a redução dos empregos para montador de aparatos médicos entre 2012-2019 de -52% (GADELHA et al., 2023 apud. Gimenez et al. 2022). A preservação por si só não deveria ser objetivo das políticas de inovação e sim uma posição ativa, sustentável, de atualização, mirando para as tecnologias emergentes, particularmente as digitais e maior intensidade da P&D nacional. Viana e Elias (2007) analisam o setor saúde para ilustrar a paralisia observada da política de inovação. O esgotamento levado pelas políticas liberais agravou a dependência de insumos tecnológicos importados, fragilizando laboratórios públicos de P&D e ampliando a desigualdade no acesso a bens de saúde. O diagnóstico converge com o debate sobre inovação feito antes: sem coordenação e investimento sustentado, a capacidade do Estado de garantir serviços de qualidade não passa de aspiração e cartas de intenções. No artigo “Saúde e Desenvolvimento” (Ibid.), os autores destacam a necessidade de formar um complexo industrial intensivo em tecnologia no Brasil, de modo a habilitar uma gestão pública mais forte e, concomitantemente,

um maior aproveitamento da P&D dos laboratórios brasileiros. O que, implicitamente, poderia viabilizar uma alternativa aos oligopólios e a estrutura de preços, muitas vezes proibitivos, que impõe aos Estados e afastam os grupos mais vulneráveis dos serviços de saúde. As estratégias hegemônicas privilegiam o valor da 'eficiência de mercado' (modelo liberal) em detrimento da equidade, acesso universal e resultam, apesar da retórica pró-competitividade, em dependência e enfraquecimento.

Essa posição se fundamenta na convergência entre a tradição neoschumpeteriana e estruturalista-desenvolvimentista na América Latina. Ao prestarem maior atenção às condições reais do conhecimento, autores como Viana e Elias (2007) abrem margem para pensar arranjos como um 'Sistema Nacional de Inovação', seus subsistemas e combinações entre política de P&D e política industrial-comercial, constituindo uma resistência ao modelo liberal. Esta convergência teórica é uma tentativa reformista de buscar configurações que possam promover a dialética, de convergir fecundidade e significância para ganhar a legitimidade no contexto local (a população usuária do SUS).

Gadelha et al. (2019) avança na discussão ao propor o conceito de Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS) como estratégia para alinhar lógica econômica e lógica sociosanitária nacional, através da convergência entre ciência, base produtiva e SUS. Por meio de pesquisa nos diretórios de grupos de pesquisa do CNPq, os autores identificam um fortalecimento gradual de P&D empresarial, embora persista o descompasso entre a elevada capacitação das Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs) e o desempenho tecnológico das parcerias. O CEIS coloca as ICTs e os serviços de saúde num fluxo bidirecional de conhecimento – inspirado na pesquisa translacional norte-americana – e destaca a proximidade com as TICs, bem como desafios nacionais: *perfil epidemiológico singular, dependência de insumos, baixa escala industrial e dificuldade de aproveitar a janela de digitalização*. Nesse sentido, esse conceito visa estabelecer, de maneira deliberada, uma nova configuração entre valores sociais e cognitivos, capaz de furar o colete financeiro imposto pela dependência.

As políticas de C&T em saúde possuem um longo histórico no Brasil. Segundo Guimarães et al. (2019) a primeira conferência nacional na temática foi a de 1994, com um hiato até 2003 e 2004 com a formação de uma secretaria específica no Ministério de Saúde e a realização da segunda conferência. Entre isso, uma perda no tocante ao reconhecimento da Propriedade Intelectual (1996), que não empoderou a pauta sanitária como uma forma de acessar tecnologias necessárias, do ponto de vista de seu uso e impacto na população brasileiro. No tocante à

estratégia de C&T em saúde, prioriza-se doenças negligenciadas, biotecnologia, genéricos, epidemiologia e ética (cuidado com voluntários e dados). O SUS é a espinha dorsal, com 1/3 do mercado de medicamentos e 1/2 dos de equipamentos e conta com uma institucionalidade formada para a incorporação de tecnologias, com uma Comissão Nacional (CONITEC) e uma Rede Brasileira de Avaliação de Tecnologias em Saúde (REBRATS).

Guimarães et. al. (2019), se apoiando num projeto de fortalecimento do CEIS, propõe uma agenda concentrada:

- (i) na geração de economia para o SUS, pelo desenvolvimento local, que incluía parcerias público-privadas, dentro de linhas estratégicas para a garantia do direito à saúde;
- (ii) na incorporação de tecnologia pela inserção brasileira na P&D, com atores nacionais, de modo a reduzir vulnerabilidades externas, particularmente de tecnologias de alto custo;
- (iii) na consolidação de laboratórios, pela absorção contínua de conhecimento, de modo a viabilizar inovações mais arriscadas;
- (iv) na criação de um Grupo Executivo do Complexo Industrial da Saúde (GECIS), para avaliar questões relativas a comércio internacional e PI.

Com isso, Guimarães et al. (2019) acredita ser possível inverter a lógica atual, na qual as tecnologias importadas governam o sistema de saúde, colocando o bem-público como critério balizador. Por sua vez, Gadelha et al. (2023) discute como o CEIS, enquanto arcabouço, viabiliza a modernização do SUS e o crescimento econômico. Decorrente de uma linha de pesquisa que, segundo os autores, desde os anos 2000 reúne pesquisadores do campo da economia política e saúde coletiva, numa confluência das tradições marxista, schumpeteriana, keynesiana e estruturalista, aponta para dissociação crescente entre a estrutura produtiva e atendimento, prejudicando o enfrentamento de doenças e assimetrias no acesso a saúde.⁶⁰ O enfrentamento dessa dissociação, defende os autores, passa por buscar um posicionamento avançado e autônomo, alinhado com as necessidades de sustentabilidade do SUS. É preciso que as tecnologias sejam acessíveis e mais baratas possíveis. Porém, há limites para as tentativas de

⁶⁰ Tradições carregam valores. A tradição marxista, por exemplo, dá grande enfoque para a relação entre apropriação e controle, e defende a participação popular como uma maneira de regular o desenvolvimento. A schumpeteriana liga o progresso (como destruição criativa) com a regulação, e defende a democracia como método para mitigar os efeitos negativos. A keynesiana liga a prosperidade com a confiança no poder público para a estabilização e proteção do bem-estar. A estruturalista que liga o progresso, enquanto aprendizado, com a equidade, capacidade de ação autônoma e mudança. Ao descolar o foco na manufatura para o direcionamento orientando, a proposta do CEIS desloca a noção de disrupção – a destruição criativa de Schumpeter – para o campo da regulação democrática. O Estado, aqui, organiza e estabiliza a demanda e cria previsibilidade. O desenho estruturalista da política se orienta para a mudança, criando especialização de alta complexidade. O design participativo, inspirado na crítica marxista, serve de contrapeso para a tendência de captura do excedente tecnológico, mas ainda dentro dos limites de um capitalismo periférico, como uma formulação reformista.

reatar a dialética. Os ciclos orçamentários, a desindustrialização, a estrutura de financiamento de curto prazo, formam um panorama desfavorável para o desenvolvimento,

5.3. Panorama competitivo e econômico

Sociedades científicas (ABC, SBPC) e lideranças corporativas (CNI) convergem na defesa de um novo status de prioridade para a política de C&T, incluindo a inovação, com intensificação dos gastos públicos e blindando-os da volatilidade (ABC, 2021), em outras palavras, da oscilação de governo para governo (CNI, 2021). O subfinanciamento crônico é apontado como principal causa por detrás da aversão ao risco do empresariado, principalmente das pequenas e médias empresas, que apresentam capacidade limitada de investimento (IEL, 2018; CNI, 2021; CGEE, 2021). Nesse ponto, observa-se o papel integrativo desse discurso, que reatualiza a antiga bandeira da excelência e competitividade, porém acrescido da dimensão impacto social (ABC, 2018). A criação da Embrapii em 2014 foi bastante celebrada por sinalizar uma aproximação entre universidades e empresas pela via da institucionalização (ABC, 2021).

Entre 1995 e 2024, observa-se uma forte assimetria entre o discurso pró-inovação e a prática orçamentária, refletida na queda da posição brasileira no *Ranking de Complexidade Econômica*. A questão central persiste: por que as iniciativas estatais não aumentaram competitividade nacional? Os dados da Tabela 4 mostram que o Brasil caiu 43 posições entre 1996 e 2021. Parte da resposta estaria na “aversão ao risco” do empresariado nacional (MEI, 2021).

País	1996	2011	2021	1996-2021
Vietnã	103	57	61	+42
Arábia Saudita	68	99	38	+30
Filipinas	61	43	33	+28
Emirados Árabes	82	68	56	+26
China	41	19	18	+23
Coréia do Sul	18	8	3	+15
Índia	53	52	42	+11
México	25	24	22	+3
Japão	1	1	1	0
Alemanha	2	3	4	-2
Estados Unidos	8	12	14	-6
Argentina	60	64	74	-14
Rússia	36	63	53	-17
África do Sul	45	65	68	-23
Austrália	59	81	93	-34
Brasil	27	47	70	-43
Venezuela	64	129	123	-59

Tabela 1: Variação no Ranking da Complexidade.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024)

O Gráfico 1 detalha a despesa federal em C&T e Indústria (2008-24), nele notamos uma recuperação desde 2022 dos recursos.

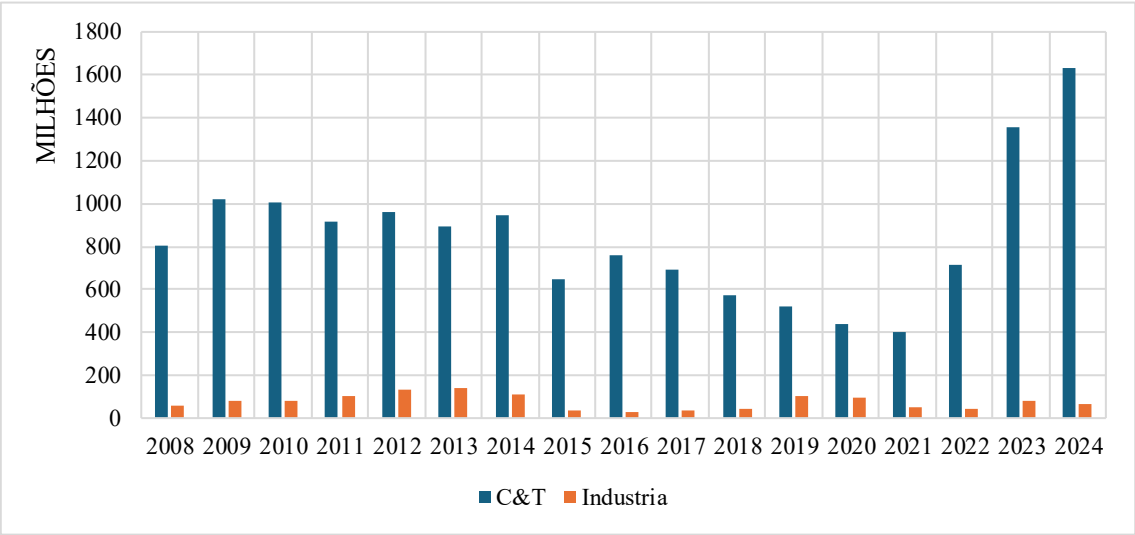


Gráfico 1: Investimentos federais em C&T e Indústria (função), em milhões de reais.

Fonte: Tesouro Nacional, 2025

O Gráfico 3 mostra a execução do FNDCT por rubrica. Nota-se a primazia do FPDTE (Financiamento Reembolsável de Desenvolvimento Tecnológico de Empresas) sobre subvenções diretas, indicando preferência por instrumentos de menor risco para o Tesouro, coerente com o argumento de “aversão ao risco”, inclusive na gestão dos órgãos públicos.

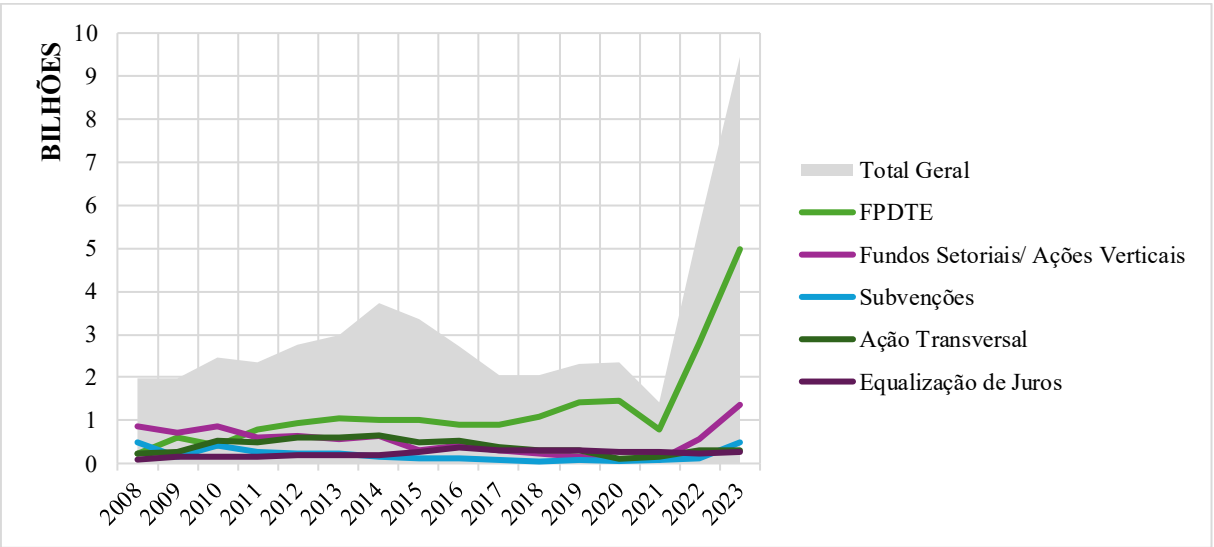


Gráfico 2: Execução orçamentária do FNDCT em bilhões de reais.

Fonte: MCTI, 2024

Nos anos 1990, privilegiou-se a formação de pessoal e a proteção da PI – essa última não vingou, a atividade patentária no Brasil continuou baixa. Já na virada do milênio, com as

Conferências Nacionais de C&T e os Fundos Setoriais, as políticas buscaram estimular parcerias entre universidades e empresas, mas o desenho em larga medida linear (ciência gera tecnologia que transforma o mercado) limitou o alcance inovador. Um evidência disso é a baixa institucionalidade dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs), com exceções importantes circunscritas a poucas universidades tradicionais. Nos anos 2000, as políticas setoriais apontavam para tecnologias emergentes como prioritárias, porém o país não galgou com elas, apesar dos esforços, o ponto de virada, um novo padrão de desenvolvimento capaz de transformar a estrutura produtiva. Os resultados consecutivos da PINTEC apontam para essa persistente dificuldade. Há boas iniciativas em curso, de modo que o quadro está em transformação. A principal delas é a criação da Embrapii (2014) que sinalizou a convergência universidade-empresa, institucionalizando ações, mas a sequência de crises políticas (2015-22) deteriorou previsibilidade orçamentária. Em síntese, a trajetória brasileira combina instabilidade orçamentária e desalinhamento entre PCT e estratégia industrial, expressado na baixa coordenação entre atores. A instabilidade, gerada pelas restrições sociais (volatilidade orçamentária, aversão ao risco, desarticulação) fragiliza a mediação entre valores sociais (desenvolvimento, competitividade) e valores cognitivos (excelência científica), reproduzindo o paradoxo de fecundidade com baixa significância, um dialética interrompida.

5.3.1. Iniciativas recentes: NIB (2024)

A crise sanitária global de 2020 evidenciou a importância de um sistema nacional de CT&I capaz de responder a emergências e mitigar a dependência externa. Concomitantemente, a difusão de ferramentas de IA e a agenda de transformação digital ganharam fôlego. Desde 2022, observa-se esforço de integração entre governo e setor privado em torno de projetos de alto impacto social, mas a volatilidade institucional é um problema histórico. Os levantamentos da PINTEC revelam baixo efeito de complementaridade dos incentivos à inovação:

Indicador	2022	2023	Δ
Taxa de inovação – indústrias > 100 func. (%)	68,1	64,6	- 3,5 p.p.
Empresas que usam apoio público (%)	39	36,3	- 2,7 p.p.
Gasto nominal em P&D (R\$ bi)	36,9	38	+ 1,4 p.p
Parcela P&D – empresas > 500 func. (%)	86,3	84,6	- 1,7 p.p

Tabela 2: Indicadores PINTEC (2022-2023).
 Fonte: IBGE, 2024.

A maior parte da inovação (68 %) é “nova para a empresa”, enquanto só 4,5 % resultam em produtos inéditos no mercado mundial. O hiato entre apoio estatal e investimento privado agrava-se nas PMEs, que dispõem de pouca capacidade de contrapartida (CNI, 2021). Fora dos

setores mais apoiados, como o de TICs que conta com uma Lei que institui créditos fiscais, de energia com atuação da Petrobrás, ANP e Agro com a atuação da EMBRAPA, predomina o ceticismo quanto à capacidade de resposta da ciência brasileira, frequentemente atribuindo-se o problema a um suposto “academicismo”.

A produção científica nacional situa-se entre as quinze maiores do mundo, enquanto o investimento em P&D permanece inferior a 1,3 % do PIB, metade da média da OCDE (Gráfico 3). Imputar a falta de inovação unilateralmente à academia ignora a desconexão crônica entre oferta de conhecimento e demanda empresarial. Em resumo, sem ultrapassar o patamar de 2 % do PIB em P&D e sem integrar instrumentos de política industrial e tecnológica, o Brasil arrisca perpetuar o ciclo de picos de gasto, cortes orçamentários, queda de complexidade. (ABC, 2018b).

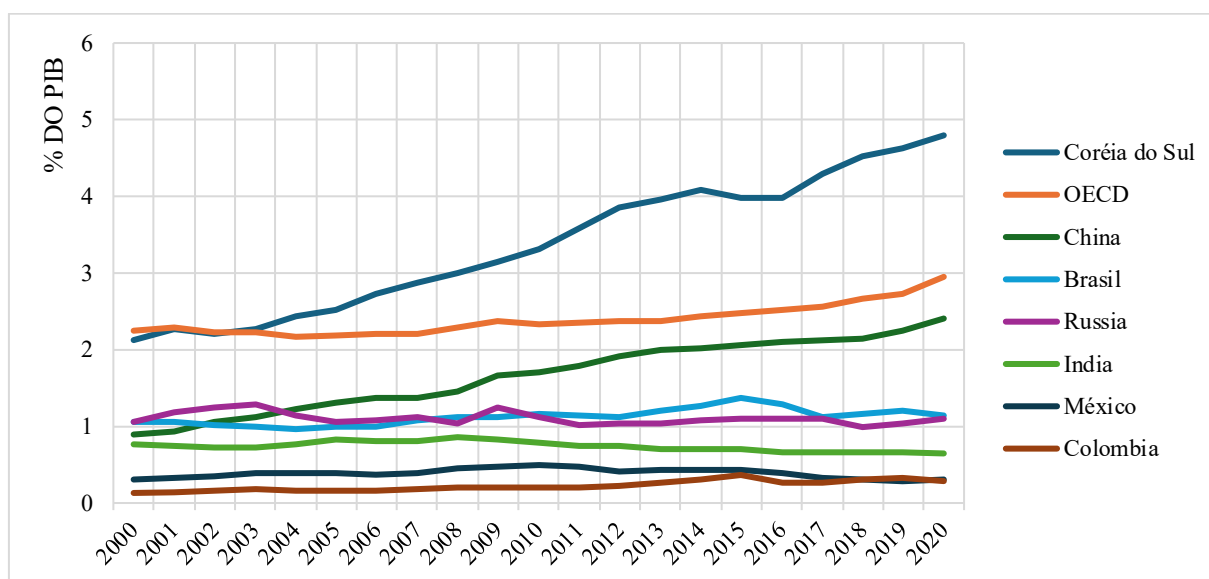


Gráfico 3: Gastos com Pesquisa e Desenvolvimento (% do PIB), países selecionados mais membros da OCDE.
Fonte: Banco Mundial, 2025.

A Nova Indústria Brasil (NIB 2024) introduz missões de CT&I articuladas a metas de transformação estrutural, dialogando com a ideia de mudança estrutural progressiva da CEPAL (2016), que propõe três dimensões de eficiência, a dizer: Keynesiana, Schumpeteriana, Ambiental e explicita a urgência de alinhar políticas industriais às prioridades de inovação verde e digital.⁶¹ As tecnologias digitais 4.0 (IoT, IA, robótica, biotecnologia, novos materiais) são

⁶¹ As três eficiências apontadas por Cimoli e Porcile (2014) correspondem, na matriz de Lacey, à tentativa de combinar o valor controle (via inovação schumpeteriana) com valores sociais de equidade (keynesiana) e de sustentabilidade (Ambiental), buscando convergência entre fecundidade científica e significância social. O arcabouço do CEIS, de maneira análoga, até porque compartilha do referencial teórico schumpeteriano e keynesiano, também busca essa convergência.

vistas como catalisadoras de uma nova revolução industrial, porém seu potencial depende de políticas públicas sistêmicas: fundos orientados por missões, consórcios universidade-empresa-governo e compras públicas estratégicas. A história recente mostra que diagnósticos adequados a aspiração reformista existem; a lacuna está na execução coordenada e propositiva.

O diagnóstico dominante descreve um ambiente institucional hostil a políticas de longo prazo e desfavorável a investimentos em tecnologias de alto risco (CEPAL, 2016). A consolidação de um sistema de CT&I bem-sucedido exige fatores difíceis de internalizar sem ação estatal, como coordenação de alto nível: infraestrutura científica avançada, subvenções econômicas, capital de risco, incentivos fiscais (ABC, 2018; CGEE, 2021). O problema brasileiro reside na frágil combinação desses fatores, afetando sobretudo *startups* e *spin-offs* acadêmicos (IEL, 2018; ABC, 2021). Mesmo no auge do ciclo global de investimentos, o venture capital brasileiro representou apenas 0,12 % do PIB em 2019, ante 0,33 % na China e 0,60 % nos Estados Unidos; em 2023 totalizou R\$ 5 bilhões ($\approx$ 0,05 % do PIB) e, em 2024, cresceu para R\$ 9 bilhões, ainda muito abaixo de economias comparáveis.⁶² A baixa tolerância ao risco restringe o universo de estratégias, favorecendo projetos com a previsibilidade de retornos pequenos. Essa racionalidade imediatista cristaliza o que se poderia chamar de controle aspiracional, isto é, o valor do controle tecnológico é repetido em discursos corporativos, mas raramente traduzido em investimentos proporcionais.

Embora o Estado ofereça instrumentos para inovação, como a Lei do Bem, Lei de TICs, FNDCT e Embrapii, a execução muitas vezes fragmentada, sem um conselho de alto nível e articulador, limita as sinergias. Mesmo no auge de investimentos (2010-13), DE NEGRI & SQUEFF (2016) apontam que os ganhos foram desconexos, sem transbordamento significativo para as pequenas e médias empresas. Casos de sucesso como Petrobrás, Embraer ou WEG (entre outras empresas nacionais) confirmam que resultados em inserção dependem de janelas longas de aprendizagem e apoio constante, justamente o que falta para as startups.

O discurso institucional pró-CTI reativa a bandeira da excelência e competitividade, característico dos liberais anos 90, agora acrescida dos imperativos de “impacto social” e “sinergia entre os atores”. Porém, ele coloca o setor produtivo em posição ambígua: beneficiário das renúncias fiscais bilionárias e, ao mesmo tempo, obstáculo por assumir poucos riscos. Essa contradição exemplifica a complexidade de alinhar valores sociais (lucro rápido) a valores

⁶² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRIVATE EQUITY E VENTURE CAPITAL. *Desempenho da indústria de venture capital no Brasil – Relatório Anual 2020*. São Paulo, 2021; _____. *Relatório de mercado 2024: tendências e investimentos*. São Paulo, 2025.

cognitivos (fecundidade científica de longo prazo). A aversão ao risco evidenciada pelo baixo volume de *venture capital* e pela hegemonia da abordagem incremental restringe a materialização do valor controle (central para a tecnociência) e perpetua o ciclo de fecundidade sem significância.

Superar o impasse exige políticas sistêmicas, com metas desafiadoras e estabilidade regulatória capazes de diluir risco e sinalizar horizonte de longo prazo. As interfaces cérebro-computador exemplificam de modo paradigmático o que está em jogo: segundo a IEEE (2025), sua janela até o mercado é de aproximadamente 15 anos. Paradoxalmente, essa mesma extensão temporal pode constituir oportunidade estratégica para economias periféricas, desde que protegidas da volatilidade institucional diagnosticada neste capítulo.

5.4. A coprodução da dependência

A escola da dependência argumentou que a inserção subordinada no capitalismo é uma condição estrutural das periferias e não uma contingência. Os comentadores da PCT brasileira mencionam um cenário de oscilação entre otimismo e retração, sem desencadear uma transformação da ordem social. A crítica da PCT hegemônica, tecnocrática, fala de uma comunidade científica que conservou o protagonismo, mas opera de modo insular, em que prioriza excelência ao mesmo tempo que percebe a insuficiência no impacto social. Autores diferentes, em momentos e métodos diferentes, chegaram a um diagnóstico similar, as políticas passaram por mudanças, mas os efeitos pretendidos não se consolidaram, seja porque a estrutura (de dependência) resistiu, seja porque a comunidade científica não tentou, por vezes, seriamente uma agenda de reforma – presa num padrão reativo, em que excelência se equipara a sobrevivência. Com isso, a inovação na periferia torna-se anômala porque a norma é a interrupção e não porque falte competência para inovar.

Sob uma perspectiva coproducionista, nota-se nos comentadores mobilizados uma preocupação com a velocidade do progresso e predomina uma perspectiva gerencial-instrumental, que consiste em saber como e onde buscar alguma inserção internacional para o Brasil, de modo a tirar proveito das ondas tecnológicas. A incerteza que envolve a inovação é percebida pela chave da indisposição dos investidores e agências de fomento em apoiar projetos arriscados na periferia, enquanto a questão da responsabilidade tende ao viés da crítica a academia, supostamente insular, presa na produção de *papers*, e de uma burocracia supostamente excessiva, com processos demorados e repetitivos. A incerteza, como pode-se notar, escorrega para a consciência de que a responsabilidade pela distância entre ciência

excelente e indústria inovadora é compartilhada com o empresariado, mas trata-se de um movimento recente, o qual se suaviza através de considerações estruturais desfavoráveis, como o famoso ‘Custo-Brasil’.

Marco	Significado para a dialética
1999 - Fundos Setoriais	Primeiro mecanismo estável de financiamento desde a democratização; reconhece necessidade de alinhar pesquisa a setores estratégicos, mas fragmentado. Tentou vincular pesquisa de ponta com objetivos nacionais, contudo faltou coordenação.
2004 - Lei de Inovação	Rompe formalmente o “insulamento” da academia: permite compartilhamento de laboratórios, atuação remunerada de pesquisadores e cria NITs. Com adesão desigual, ilhas de excelência saíram na frente, formando os “talentos” e atraindo parcerias; assimetria evidente entre centro-na-periferia e periferia-na-periferia.
2016 - Marco Legal de CT&I	Consolida instrumentos (dispensa de licitação em P&D, encomenda tecnológica) e legitima participação acionária do Estado; oferece base jurídica para transferências tecnológicas. Apesar da legitimidade formal, persiste a percepção de que os instrumentos não dão as garantias necessárias, fala-se de aversão ao risco (resistência a aspiração vinda das periferias do sistema de C&T).

Quadro 4: PCT brasileira e o significado dela para a dialética valores sociais e cognitivos.
Fonte: Elaboração própria.

Arriscando uma aproximação com a teoria dos valores, podemos dizer que a interrupção da dialética é a coprodução da dependência nos sistemas de C&T, algo que se manifesta num imaginário sociotécnico de ‘controle aspiracional’, matizado pelo fraco histórico de autonomia alcançado. A disputa pela excelência restringe-se à distribuição do reconhecimento científico. Ela é sensível para a assimetria de fecundidade entre ‘centro-na-periferia’ e ‘periferia-na-periferia’, fala sobre as condições de produção de uma formação e pesquisa científica de qualidade, de ‘classe global’. No tocante à significância, as ilhas de excelência nas periferias manifestam as capacidades de participar da tecnociência, embora de modo vulnerável, sujeitas a captura pelo polo mais estruturado, onde a ciência encontra planejamento de longo prazo e capital para inovação. Diferentemente do ‘centro-na-periferia’, a periferia é constituída pela dinâmica cíclica do apoio estatal e pelo reconhecimento de uma relação assimétrica, contudo produtiva, com o polo mais estruturado, o centro, que resulta em desenvolvimento. Dinâmica de sujeição que, por sua vez, diferencia a comunidade de pesquisa num duplo interno, a ‘periferia-na-periferia’ e a ‘periferia-no-centro’. O controle aspiracional, enquanto um imaginário das periferias, se manifesta empiricamente nos relatórios de competitividade, nos *rankings*, na retórica de *catching-up*, legitimando uma coalizão entre centro-na-periferia e empresariado – que se combina aos interesses das multinacionais estrangeiras.

Nos ciclos de retração, as assimetrias internas são utilizadas como justificativas na distribuição dos ônus, ou seja, quais as partes da comunidade de pesquisa que serão as mais afetadas. Isso torna a busca da excelência uma espécie de tabua da salvação, capaz de suavizar a instabilidade. Nos ciclos de expansão, a inserção global é ambicionada, contudo dentro de uma lógica fragmentada, a complementaridade é baixa e os esforços parecem duplicados, principalmente os de formação de recursos humanos. A excelência, ilhada, se ilumina em relação a um contexto periférico interno, de um conhecimento que visibilize a heterogeneidade dos sistemas nacionais e os graus de dependência entre organizações. A dinâmica entre excelência e dependência coproduz uma ordem social atravessada por uma forte concentração das possibilidades de inovar que é capitalista no seu extremo. A inserção tecnológica das “periferias” é frequentemente um tema que causa conflitos geopolíticos e que quando ocorre provoca um tipo de reação – vide os conflitos dos EUA com a emergência dos asiáticos, o Japão nos anos 80, os coreanos nos anos 2000, os chineses na atualidade. O valor social do controle se manifesta, na escola da dependência, como autonomia tecnológica. É a forma como é traduzido e estabilizado, algo que fica muito claro nas disputas em torno da PI (Propriedade Intelectual) e dos mecanismos para coibir infrações. Ciência e estrutura política e economia estão em relação de mútua influência.

O que para a teoria dos valores são escolhas, dentro de um contexto de restrição, a escola da dependência colocará como posições na estrutura, num campo de possibilidades mais ou menos estável, no qual a restrição é sistêmica. A dinâmica é relacional, mas manifestação da dialética pautada no controle é a pedra angular, sofre mutações de contexto para contexto, mas raramente é abandonada. A estabilidade dessa formação é grande e a dimensão prática, pela qual os valores cognitivos interpõe com fecundidade (inovação), está alinhada com esse fim. A legitimidade das ciências está atrelada ao controle, especialmente a aspiração dele num grau elevado, o que do ponto de vista da escola da dependência se traduz em autonomia. Chegamos, portanto, na problemática específica. Na teoria dos valores as posições dos atores (cientistas e suas organizações) refletem considerações sobre o ‘bem-comum’ e ‘boa-ciência’, socialmente modeladas por estratégias, orientações programáticas sobre como se posicionar na ponta, no desenvolvimento de fronteira, no qual o controle é radicalmente transformador. A dialética prioriza a agência, ainda que sob restrição. Já a escola da dependência trata de posições estruturais, concentração e desigualdade, um cenário de exclusão da maioria dos países e povos.

Nos estudos revisados, observa-se que a ênfase no protagonismo do mercado, liberal, não se converteu em ganhos substanciais de desenvolvimento, equidade ou autonomia tecnológica.

A fragilidade institucional e a descontinuidade de políticas minaram a convergência entre fecundidade e significância, mantendo o sistema brasileiro fragmentado, lembrado pelas suas ilhas de excelência, frequentemente capturadas, ciclos de volatilidade e interrupção político-econômica. Apesar do inegável sucesso científico brasileiro, a irradiação dos núcleos para o tecido produtivo e social é muito limitada. Casos de “*clusters*” provam que arranjos produtivos podem emergir de uma base científica forte através de políticas bem alinhadas de institucionalização. A assimetria interna confirma o diagnóstico de Sturgeon et al. (2013): políticas de conteúdo local e incentivos fiscais vinculados à manufatura geram empresas fortes, mas não necessariamente encadeiam P&D de alto valor e parceiras inovadoras. Faltam indicadores compostos capazes de capturar impacto social para elevar o reinvestimento em P&D, abrindo caminho para que empresas pequenas e médias, com potencial de crescimento, assim o façam. Não há painéis que sejam regulares sobre o impacto dos investimentos públicos na criação de empresas nacionais, na atualização da indústria local, da intensidade da P&D e engenharias apoiadas, entre outras informações de interesse público. Se existem, não são divulgadas ou suficientemente abrangentes. Cada ator possui, frequentemente, o seu sistema. Isso torna estáticas as políticas e inviabilizam ajustes rápidos. Sem essas informações e o compromisso em produzi-las, a aspiração torna-se reduzida a uma retórica que não tem levado, por si só, a maior legitimidade da PCT frente à população brasileira. Ela é na maioria das vezes restrita a uma comunidade de pesquisa iniciada, uma pequena burocracia que lhe dá sustentação e uma classe média cada vez mais pressionada no mercado de trabalho. Essa aliança possui alguns sucessos parciais e claro que as críticas feitas a PCT podem ser relativizadas. Pode-se apontar como avanços a geração de empregos no Brasil, os centros de P&D com projetos globais, a inclusão social via ações afirmativas. Porém, esses resultados são na maioria das vezes invisíveis. Poucas vezes superam as barreiras de prototipação e quando chegam ao mercado não há mecanismo que dê visibilidade para a participação do sistema de C&T na solução bem-sucedida. Ela está simbolicamente e materialmente ‘capturada’, como parte de um produto global, registrada no nome de uma multinacional estrangeira.

A dependência tem sido mais persistente que a maioria das políticas de inserção internacional. A análise aqui desenvolvida é assertiva. É preciso não só ambicionar a inserção enquanto país, potência com autonomia tecnológica, mas a participação social sobre os rumos e valores dessa agenda de inserção. Isso significa, no tocante à PCT em saúde, a formação de comunidades engajadas de desenvolvedores, pacientes e profissionais do SUS, num design participativo das soluções. A proposta do Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS)

demonstra que há tentativas de alinhar fecundidade científica a significância social, porém o setor saúde ainda enfrenta barreiras de mercado, dependência de insumos importados, falta de incentivos específicos e subfinanciamento. Além disso, a vastidão territorial do Brasil e a diversidade institucional interna fazem do “sistema nacional de inovação ou CTI” um projeto normativo que exige tempo para amadurecer. O tema de sua consolidação é antigo e seu valor performativo evidente. Não se trata de questionar a legitimidade do projeto, mas compreender o porquê de não se converteu em mecanismos que façam da avaliação, incluindo das vocações regionais e institucionais, uma possibilidade para melhorias e ajustes iterativos na PCT e na relação em rede entre atores e não apenas um meio de hierarquizar o sistema. O CEIS, como uma visão, é uma proposição que pode ser experimentada, como uma estratégia contextualizada para colocar o controle e a tecnociência sob uma perspectiva reformista.

5.5. Considerações Finais

Então, como estimular um nicho de média-alta complexidade tecnológica? Uma rota plausível seria estruturar um programa piloto centrado em desafios tecnológicos, com projetos inovadores em sensores, com foco na realidade do SUS. O objetivo seria o de estimular aplicações em saúde inspiradas em pesquisas endógenas e de fronteira. Há uma diversidade de avenidas que poderiam ser experimentadas, o que envolve, por óbvio, alto risco tecnológico e de mercado, seja na engenharia de novos materiais, desenvolvimento de softwares para sinais biológicos, combinação entre diferentes sistemas e interfaces. Segundo estudo da IEEE (2025) a janela tecnológica para ICCs é, entre as tecnologias disruptivas, uma das mais longas, com cerca de 15 anos até o mercado, o que viabilizaria um planejamento mais estruturado.⁶³ Combinada à outras, incluindo instrumentalização para sinais musculares, iniciativas que combinem sensores e algoritmos avançados podem resultar em aplicações novas para a medicina diagnóstica e assistência básica. Mas, de fato, subsiste a tensão, a incerteza ontológica é uma assinatura da modernidade: ao mesmo tempo que as ICCs estão entre as tecnologias com as janelas mais longas, também são uma das mais suscetíveis a interrupção como norma.

⁶³ Com base no relatório da INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, “*IEEE reveals predictions for top technology trends of 2025*” (14 jan. 2025), que consultou 53 especialistas sobre 22 tecnologias disruptivas, as ICCs apareceram na 21ª posição, enquadradas como “interface de uso” na megatendência Transformação Digital. O estudo atribuiu-lhes notas de sucesso (C+), impacto na humanidade (B+), maturidade (C) e adoção de mercado (C-), projetando horizonte de adoção de ≈ 10 anos (9,6). Recomenda-se prototipagem ética para casos específicos e aponta-se entraves, como custos altos, riscos cirúrgicos, interfaces ainda desajeitadas e integração de sinais limitada, mas também oportunidades: EEG acessível, combinação com estimulação, IA para tratamento e reabilitação, e ganhos sustentáveis via sensores avançados, carregamento sem fio e processamento em tempo real.

Se o objetivo é a inserção pelo controle, a orientação dominante é quase incontornável, é preciso ter uma estratégia de dados que viabilize a pesquisa em rede, que garanta a segurança, privacidade e uso ético, como uma base colaborativa e pública, o que não significa aberta ou de acesso indiscriminado. Dada a capilaridade do SUS, essa base poderia se tornar um diferencial, favorecendo a formação de *joint-ventures* e elevando a capacidade de atração de investidores pelos *spin-offs*. Além disso, a estruturação precisa ser iterativa e não linear. É preciso ouvir e coordenar a comunidade em institutos públicos, privados e departamentos de P&D das empresas, buscando convergências, via encontros e estímulos para parcerias. A visão seria a de consolidar como política de longo prazo a criação de uma cadeia produtiva em saúde e TICs. O próximo capítulo examina o campo das ICCs e, nos moldes do CEIS, elabora as condições sob as quais uma tentativa de uma coordenação deliberada atuaria.

6. Aprofundamento da Dependência: inserção brasileira no setor de Instrumentos Médicos

Este capítulo apresenta dados sobre a evolução do setor de instrumentos médicos (código 9018, HS 1992) e do subsegmento de instrumentos para ciências médicas (código 9018.90) entre 1995 e 2021, com base no Atlas da Complexidade.⁶⁴ Os valores, expressos em dólares norte-americanos nominais, foram agrupados em janelas quinquenais para facilitar a leitura da trajetória de crescimento do mercado global; o ano de 2021 foi incluído como referência pontual. A análise revela que o Brasil não é um caso isolado, mas um exemplar de um padrão sistêmico.

O objetivo consiste em aproximar-se do mercado emergente de Interfaces Cérebro-Computador (ICCs). Ainda que tais interfaces não possuam código aduaneiro próprio, diversos dispositivos e componentes empregados na captura de sinais, no diagnóstico e na estimulação neurológica enquadram-se nos códigos acima. Como parcela significativa das pesquisas em ICCs ocorre em laboratórios acadêmicos e institutos de P&D, o subsegmento 9018.90, que

⁶⁴ Na classificação tarifária internacional, o Capítulo 90 abrange diversos tipos de instrumentos. Em particular, o código 9018 reúne dispositivos médicos, cirúrgicos, odontológicos e veterinários, incluindo aparelhos eletromédicos como o eletroencefalograma (EEG), tecnologia fundamental para o monitoramento da atividade cerebral em ICCs não invasivas. Já o código 9018.90 funciona como uma categoria “guarda-chuva” para produtos médicos de uso específico não enquadrados em classificações mais detalhadas, o que pode incluir eletrodos e sensores para EEG (classificados, em alguns casos, como 9018.19, “outros aparelhos de eletrodiagnóstico”, ou como 9018.90, por exclusão). Além disso, aparelhos de estimulação neural e outros equipamentos eletromédicos também podem ser listados nessas subclasses, sendo essenciais em determinadas aplicações de ICC. Embora a categoria 9018.90 agregue outros itens, a presença significativa de importações relacionadas a EEG e componentes associados dentro do capítulo 9018 como um todo, e a dificuldade de isolar consistentemente subcategorias mais finas, tornam o código 9018.90 uma aproximação metodologicamente defensável para capturar a tendência geral.

engloba instrumentos de nicho para teste e desenvolvimento, torna-se particularmente relevante. Portanto, os fluxos comerciais desses códigos funcionam como *proxy*, uma via indireta, para avaliar crescimento de mercado, evolução tecnológica e especialização produtiva em dispositivos médicos avançados. O levantamento ocorreu em outubro de 2024.

O presente capítulo não distingue importações estratégicas, imprescindíveis à inovação doméstica, daquelas que perpetuam dependência. Essa limitação permanece como agenda futura de pesquisa. Do mesmo modo, a participação do Brasil em estágios de maior valor (design, P&D, serviços) nas cadeias globais de instrumentos médicos não foi investigada. Metodologicamente, parte-se da premissa que as relações comerciais manifestam a coprodução da dependência. Indicadores adicionais, como complexidade funcional ou *know-how* regulatório, seriam desejáveis para calibrar o relato, mas não foram desenvolvidos aqui.

6.1. Panorama global e nacional (1995-2021)

Entre 1995 e 2021, o setor de instrumentos médicos passou de dezenas para centenas de bilhões de dólares em comércio anual. No final dos anos 1990, Estados Unidos, Alemanha e Japão lideravam as exportações. A partir dos anos 2000 a rápida expansão da China e, em menor medida, da Coreia do Sul, remodelou o mercado. No segmento de maior intensidade tecnológica (9018.90), aqueles três países eram ainda mais proeminentes, entretanto, isso mudou. Três transformações merecem destaque:

- i. Emergência asiática: China e Coreia do Sul aumentaram participação tanto em exportações quanto em importações, deslocando fatias de mercado ocidentais;
- ii. Resiliência ocidental: Estados Unidos e Alemanha mantiveram parte de sua produção doméstica ao especializar-se em nichos de alto valor;
- iii. Crescente dependência de outros polos tradicionais: Países da Europa Ocidental (Itália, França) e o Japão importam volumes cada vez maiores desses instrumentos.

No plano regional (Tabela 6), Europa Ocidental, América do Norte e Ásia Oriental concentram tanto exportações quanto importações (4º quartil). América Latina apresenta a maior taxa média de crescimento exportador (13,3 %), impulsionada por México e Costa Rica, que se consolidaram como plataformas de montagem voltadas ao mercado norte-americano. No Brasil, as importações de instrumentos médicos cresceram mais rapidamente que as exportações, ampliando o desequilíbrio comercial. Para o segmento de maior valor agregado, o déficit saltou de US\$ 67 milhões (1995) para US\$ 550 milhões (2021). Embora o país tenha exportado esporadicamente para vizinhos (Argentina, Chile, Paraguai, Bolívia, Peru) e para grandes mercados (Estados Unidos, Índia), os montantes permanecem marginais. Superávits

regionais observados até meados de 2010 desapareceram, em parte devido à maior competitividade das economias asiáticas e à sua consolidação como centros emergentes. Além disso, diferentemente de setores alvo de políticas industriais – como TICs, semicondutores ou energia – o segmento de instrumentos médicos carece de iniciativas estruturadas que promovam produção local ou integração digital-saúde. Tal ausência de incentivos aprofunda a vulnerabilidade brasileira às flutuações externas e aos regimes de propriedade intelectual detidos pelos líderes globais.

Subcontinente	Cresc. Exp. %	Cresc. Imp. %	Exp. Totais (2021)	Imp. Totais (2021)	Quartil (Exp.)	Quartil (Imp.)
Europa Ocidental	7,53	7,09	43,0 bi	38,6 bi	4º	4º
América do Norte	6,38	9,12	31,4 bi	35,6 bi	4º	4º
Ásia Oriental	8,09	8,31	21,6 bi	23,7 bi	4º	4º
América Latina & Caribe	13,27	8,06	19,2 bi	10,0 bi	4º	4º
Europa do Norte	6,78	6,51	14,2 bi	8,6 bi	3º	3º
Sudeste Asiático	8,82	9,27	7,0 bi	8,5 bi	3º	3º
Europa do Sul	6,29	6,35	4,4 bi	6,5 bi	3º	3º
Europa Oriental	12,85	7,85	3,8 bi	5,2 bi	2º	2º
Ásia Ocidental	11,38	8,70	3,1 bi	4,9 bi	2º	2º
Ásia Meridional	11,17	9,90	1,5 bi	3,1 bi	2º	2º
Austrália & N. Zelândia	7,26	7,99	546 mi	2,6 bi	2º	2º
Norte da África	15,82	6,27	237 mi	1,4 bi	1º	1º
África Subsaariana	10,65	6,09	201 mi	982 mi	1º	1º
Ásia Central	8,46	8,73	8,6 mi	449 mi	1º	1º
Micronésia	11,48	8,19	3,9 mi	89 mi	1º	1º

Tabela 3: Regiões mais dinâmicas no mercado de instrumentos médicos (exportações e importações, 2021, USD nominais).

Fonte: Atlas da Complexidade; elaboração própria.

6.2. Apresentação dos dados

6.2.1. Instrumentos Médicos – panorama mundial

O comércio global de instrumentos médicos cresceu substancialmente entre 1995 e 2021. No período, as exportações saltaram de US\$ 21 bilhões para cerca de US\$ 150 bilhões, o que equivale a uma taxa média anual próxima de 7% e 8% (Gráfico 4). Em 1995, Europa Ocidental e América do Norte respondiam, cada uma, por aproximadamente 30% do total, enquanto a Ásia Oriental detinha 13,5 %. Embora os valores absolutos da América do Norte tenham aumentado, sua participação relativa caiu quase 10 p.p. ao longo das duas últimas décadas.

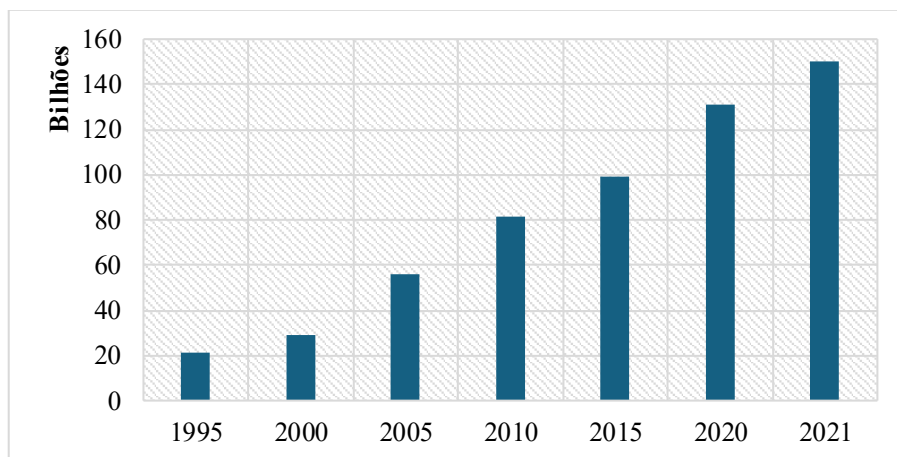


Gráfico 4: Mercado mundial de instrumentos médicos, exportações totais (1995-2021).
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

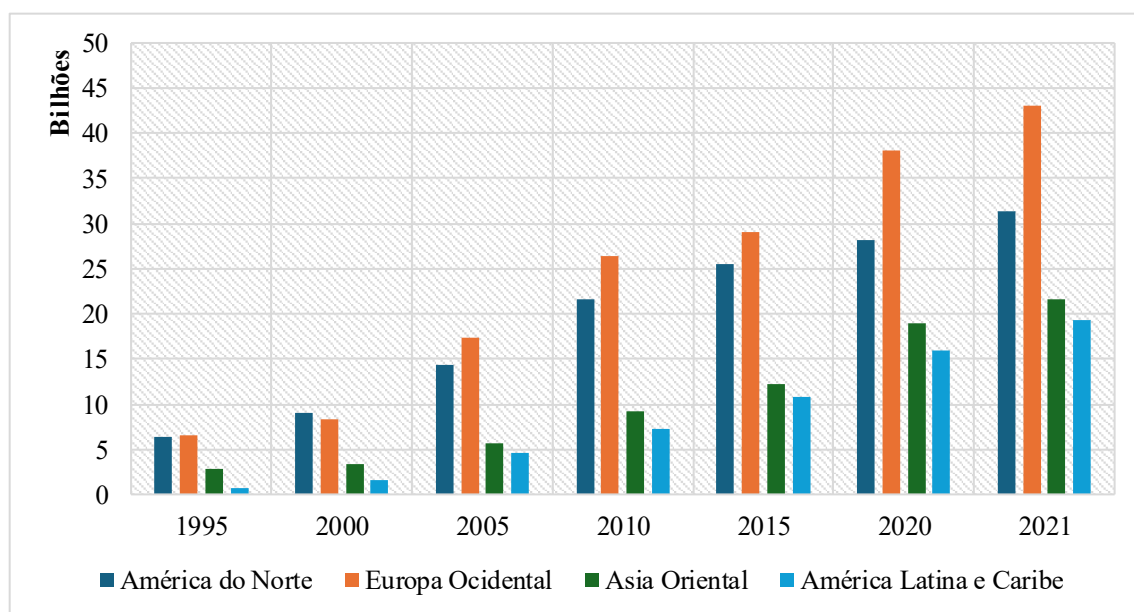


Gráfico 5: Exportações dos subcontinentes mais dinâmicos.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

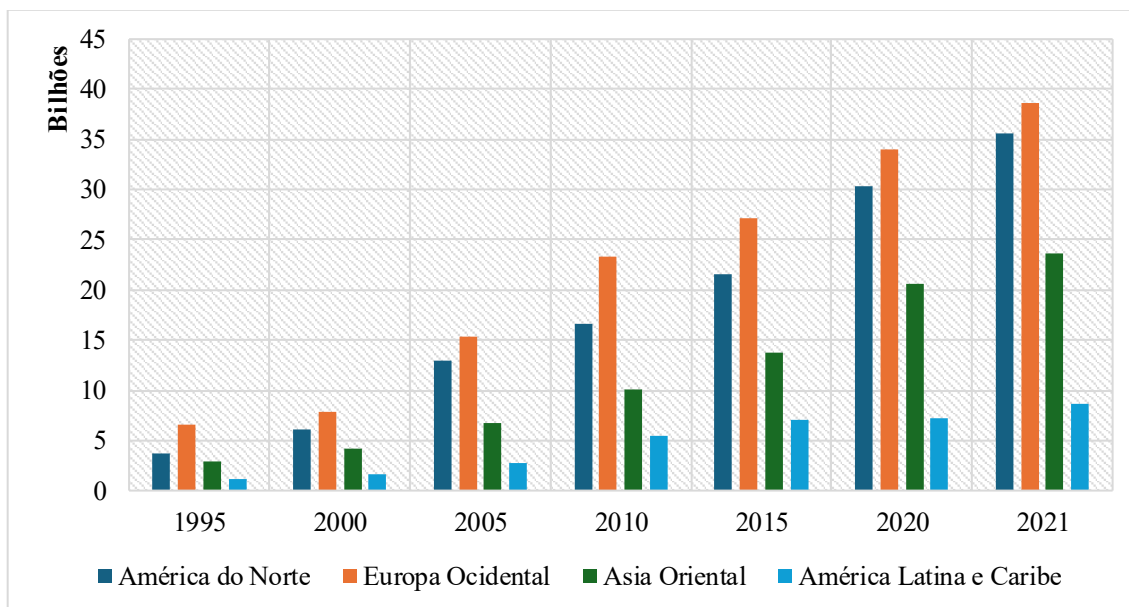


Gráfico 6: Importações dos subcontinentes mais dinâmicos.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

Estados Unidos, Alemanha, Países Baixos e Japão são lideranças tradicionais. Entre as economias emergentes, México, China, Costa Rica, Irlanda e Coreia do Sul apresentaram avanços significativos. O Brasil manteve participação marginal.

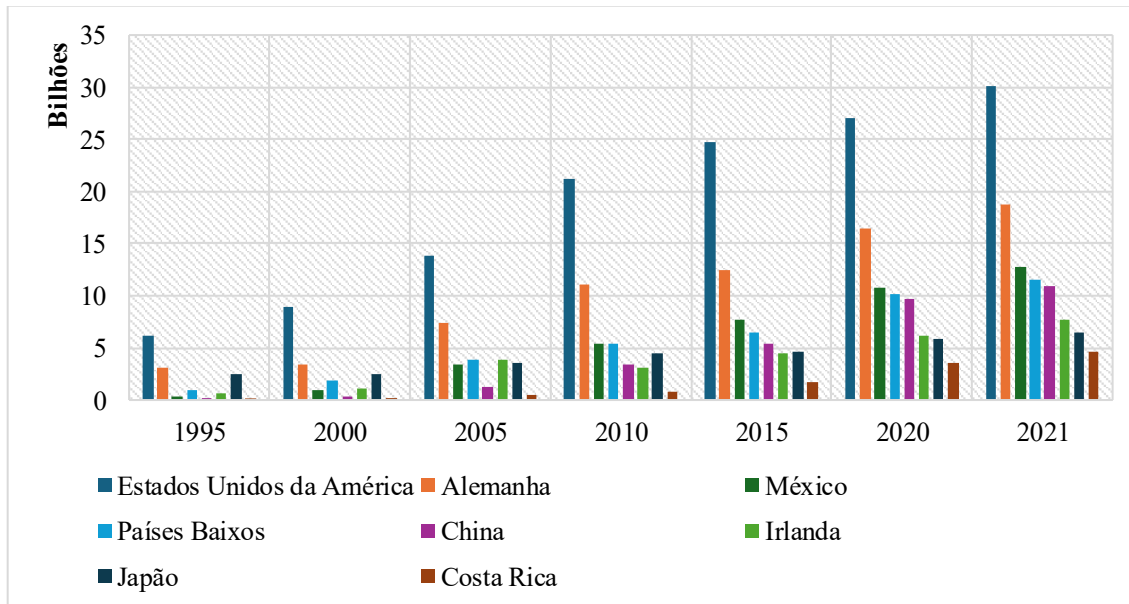


Gráfico 7: Exportações de instrumentos médicos, países selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

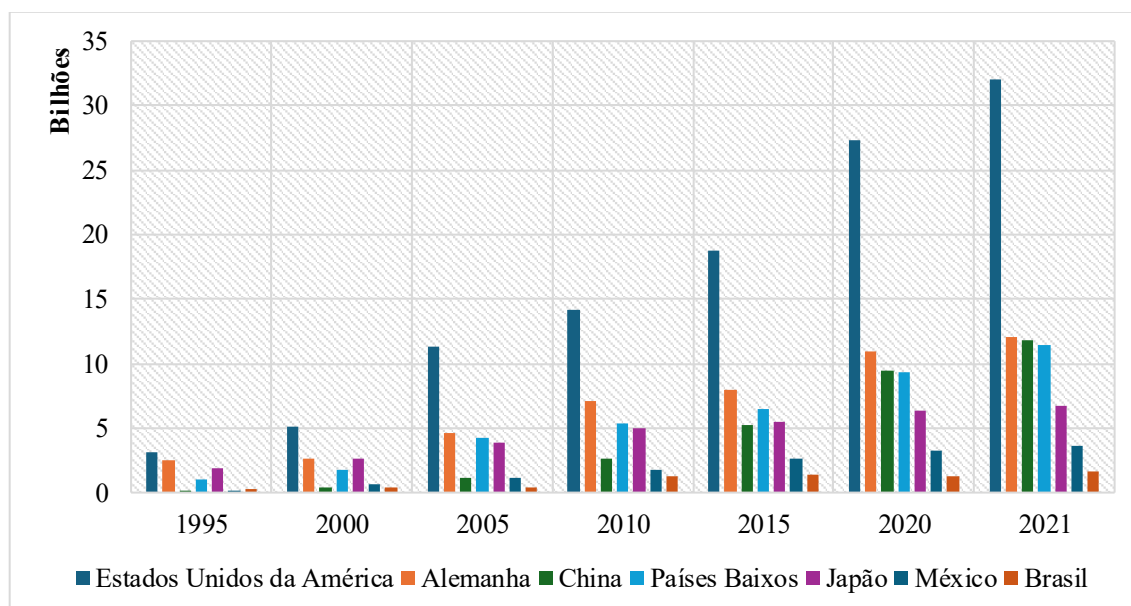


Gráfico 8: Importações de instrumentos médicos, países selecionados.

Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

As importações exibem padrão similar. Os Estados Unidos permanecem o principal mercado, seguidos por Alemanha, Japão e Países Baixos, enquanto a China desponta entre os emergentes. Esses países atuam como âncoras de demanda global, ainda que o dinamismo recente se distribua entre diversas nações. México, Alemanha, Irlanda e Costa Rica mantiveram superávits consistentes. Países emergentes de menor porte, como Vietnã e Hungria, migraram para saldos positivos (US\$ 637 milhões e US\$ 413 milhões, respectivamente, em 2021). Em contraste, Estados Unidos e Japão passaram de superávits iniciais para déficits de -US\$ 207 milhões e -US\$ 2 bilhões em 2021. A balança chinesa oscilou, culminando em déficit de quase US\$ 1 bilhão. Entre os europeus, Suécia, França, Espanha, Itália e Reino Unido exibem déficits crescentes, assim como Canadá e Austrália; Brasil e Índia seguem a mesma tendência.

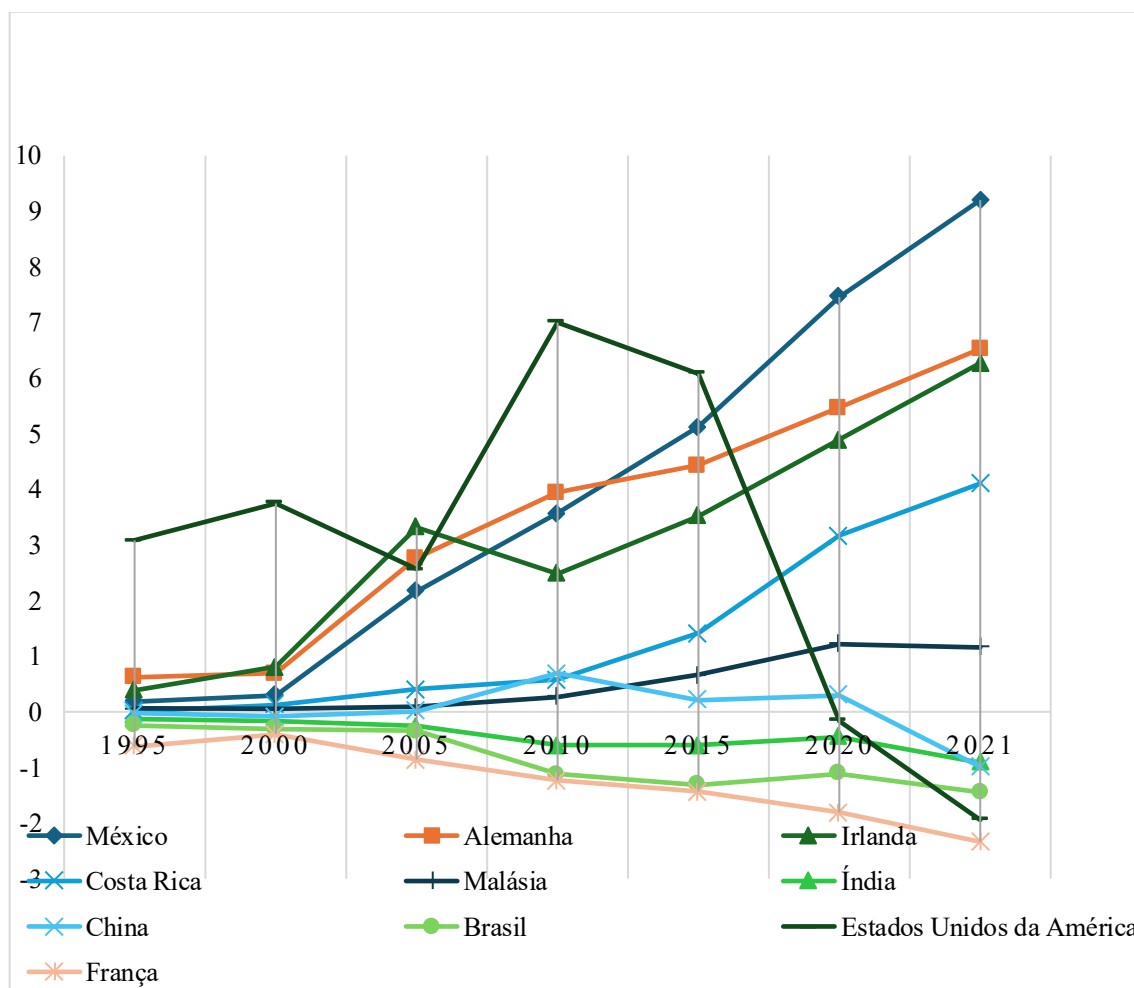


Gráfico 9: Balança comercial de instrumentos médicos, países selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

A América Latina, impulsionada por México e Costa Rica, passou de um déficit de US\$ 395 milhões (1995) para superávit de quase US\$ 11 bilhões (2021). Em sentido oposto, a América do Norte tornou-se deficitária (-US\$ 4 bilhões em 2021), indicando realocação produtiva para localidades de menor custo. Europa Ocidental e Europa Setentrional mantiveram tradição exportadora, enquanto o Sudeste Asiático, apesar de menores valores absolutos, alcançou superávit próximo de US\$ 1,8 bilhão em 2021. Regiões como Ásia Oriental, Ásia Central, Ásia Ocidental, Europa Meridional, Europa Oriental e Austrália-Nova Zelândia permanecem importadoras líquidas.

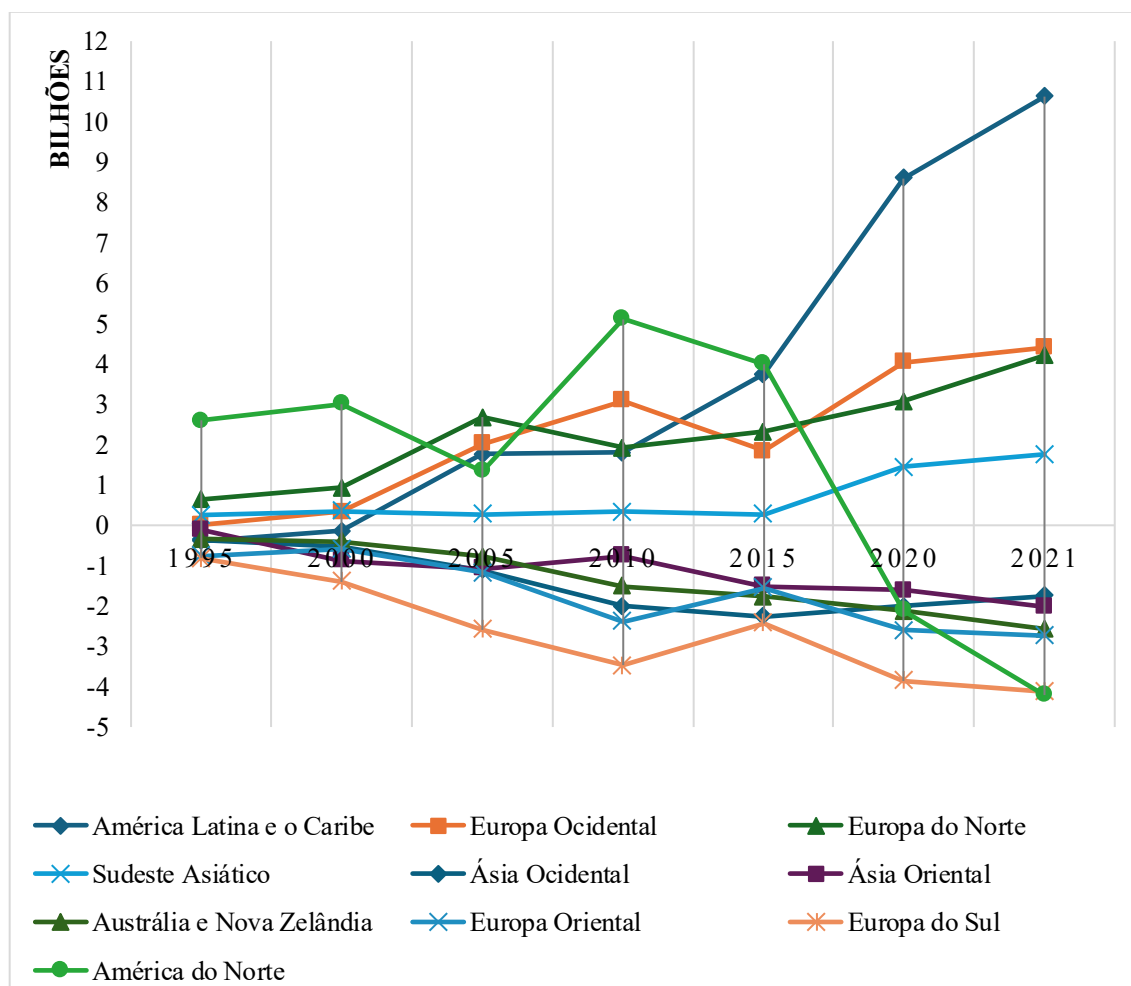


Gráfico 10: Balança comercial de instrumentos médicos, subcontinentes.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

6.2.2. Instrumentos Médicos – panorama nacional

Embora as exportações brasileiras tenham crescido, a sua magnitude permanece modesta quando comparada, por exemplo, aos avanços de México e Costa Rica. Além disso, o crescimento nacional não é linear nem suficientemente expressivo. Em 1995, o País importava cerca de dez vezes mais do que exportava (US\$ 274 mi versus US\$ 28 mi). Em 2021, as importações alcançaram aproximadamente US\$ 1,58 bi, enquanto as exportações somaram US\$ 180 mi, resultando em déficit de US\$ 1,40 bi.⁶⁵ Esses números indicam que a demanda interna por instrumentos médicos cresce mais rapidamente do que a capacidade produtiva nacional, aprofundando um padrão de dependência caracterizado por alto consumo e baixa oferta doméstica. O coeficiente de dependência (importações ÷ exportações) para o agregado HS 9018

⁶⁵ Informações de valor adicionado e emprego na indústria nacional de dispositivos médicos não foram levantadas nesta tese; sugere-se investigá-las em pesquisas futuras. Além disso, Sem estatísticas de produção, utiliza-se a relação importações/exportações como proxy de dependência; a mensuração completa exigiria consumo aparente (produção + importações – exportações).

passou de 10 em 1995 para ≈ 9 em 2021, sinalizando manutenção de forte assimetria comercial. Porém, no mesmo período saltou o coeficiente para o subsegmento de maior complexidade (9018.90), de 2,7 para 16,3, indicando que a dependência é proporcional a intensidade tecnológica. Para comparação, esse número para a América Latina é de 0,4; EUA: 1,1; Europa Ocidental: 0,8.

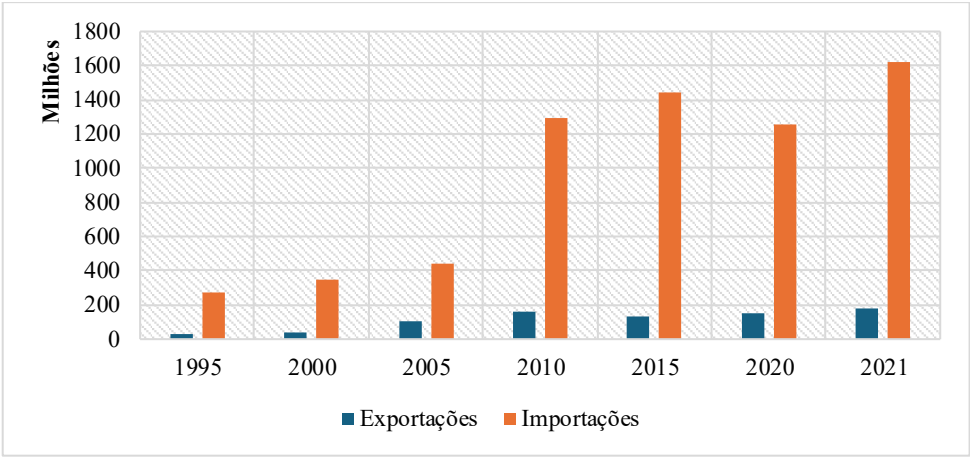


Gráfico 11: Exportações e importações brasileiras de instrumentos médicos (1995-2021).
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

As exportações concentram-se na América Latina (US\$ 59 mi em 2021), sobretudo Argentina (US\$ 15 mi), México (US\$ 7 mi) e Chile (US\$ 5,5 mi), apresentando estagnação desde 2015. Os Estados Unidos aparecem como segundo destino mais relevante (US\$ 50 mi), seguidos pela Europa Ocidental (US\$ 30 mi), com destaque para o Reino Unido (US\$ 22 mi). Embora esses mercados sejam sofisticados – sugerindo que parte dos produtos nacionais atenda a padrões técnicos rigorosos – os valores permanecem reduzidos e irregulares.

País	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
EUA	2,8 mi	11,7 mi	20,1 mi	25,3 mi	27,1 mi	45,1 mi	49,3 mi
Alemanha	1,2 mi	1,1 mi	3,2 mi	6,1 mi	4,2 mi	4,7 mi	4,6 mi
Japão	71,2 mil	128,3 mil	486,7 mil	741,4 mil	482,7 mil	604,3 mil	778,1 mil
China	46,8 mil	78,6 mil	344,6 mil	365,7 mil	269,6 mil	348,9 mil	436,9 mil
Argentina	2,5 mi	3,4 mi	6,6 mi	12,8 mi	11,9 mi	11,1 mi	14,7 mi
Chile	1,6 mi	2,1 mi	3,7 mi	6,8 mi	5,8 mi	5,4 mi	5,6 mi
Peru	978,2 mil	868,4 mil	2,7 mi	4,2 mi	3,2 mi	3,1 mi	3,8 mi
Bolívia	1,2 mi	1,3 mi	3,3 mi	6,8 mi	4,5 mi	5,0 mi	5,4 mi
Colômbia	420,6 mil	432,5 mil	1,7 mi	2,0 mi	1,2 mi	1,4 mi	2,3 mi
Paraguai	1,0 mi	872,6 mil	3,0 mi	4,8 mi	4,1 mi	3,2 mi	4,2 mi
Índia	689,5 mil	612,8 mil	2,0 mi	2,8 mi	2,6 mi	2,6 mi	2,9 mi
Indonésia	220,1 mil	290,5 mil	815,0 mil	1,3 mi	812,2 mil	1,0 mi	1,3 m

Tabela 4: Exportações brasileiras de instrumentos médicos, principais destinos (US\$ nominais).
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

No lado das importações, Estados Unidos lideram (US\$ 482 mi em 2021), seguidos por Japão (US\$ 371 mi) e Alemanha (US\$ 162 mi). Países da Ásia Oriental, sobretudo o Japão, ampliaram participação; nações latino-americanas, por sua vez, não figuram como grandes fornecedoras.

País	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
EUA	150,0 mi	199,6 mi	219,1 mi	587,9 mi	773,8 mi	364,0 mi	481,9 mi
Alemanha	32,5 mi	18,7 mi	39,1 mi	103,8 mi	125,3 mi	155,3 mi	162,3 mi
Japão	40,9 mi	44,5 mi	54,3 mi	175,9 mi	129,3 mi	313,4 mi	371,1 mi
China	985,2 mil	1,7 mi	2,2 mi	7,0 mi	8,2 mi	7,4 mi	10,5 mi
Argentina	1,1 mi	1,8 mi	2,7 mi	10,4 mi	9,9 mi	8,7 mi	13,1 mi
Chile	37,2 mil	69,2 mil	147,4 mil	693,2 mil	875,4 mil	1,5 mi	2,0 mi
Peru	0	0	0	0	0	0	0
Bolívia	0	0	0	0	0	0	0
Colômbia	702,5 mil	1,6 mi	2,0 mi	4,8 mi	7,5 mi	7,0 mi	9,0 mi
Paraguai	2,5 mil	7,3 mil	16,5 mil	84,6 mil	89,4 mil	407,1 mil	576,0 mil
Índia	91,0 mil	98,8 mil	292,9 mil	834,2 mil	1,0 mi	1,6 mi	2,6 mi
Indonésia	162,2 mil	315,1 mil	387,2 mil	1,6 mi	2,3 mi	3,6 mi	3,9 mi

Tabela 5: Importações brasileiras de instrumentos médicos, principais provedores (US\$ nominais).
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

Os raros superávits brasileiros, historicamente concentrados na América Latina, deterioraram-se ao longo do tempo: em 2021 o saldo regional já era negativo em -US\$ 2 mi. A Argentina, que outrora absorvia parcela relevante das exportações, comprou apenas US\$ 1,5 mi naquele ano. Em América do Norte, Europa e Ásia, o déficit é crônico e crescente, refletindo dependência não apenas de itens sofisticados, mas também de insumos e componentes de menor valor agregado.

Essa erosão comercial sugere estagnação ou retração da base industrial brasileira de instrumentos médicos, agravada pela competição asiática na América Latina. Tal quadro pode representar risco sistêmico à universalidade do Sistema Único de Saúde (SUS), cada vez mais dependente de tecnologias importadas.

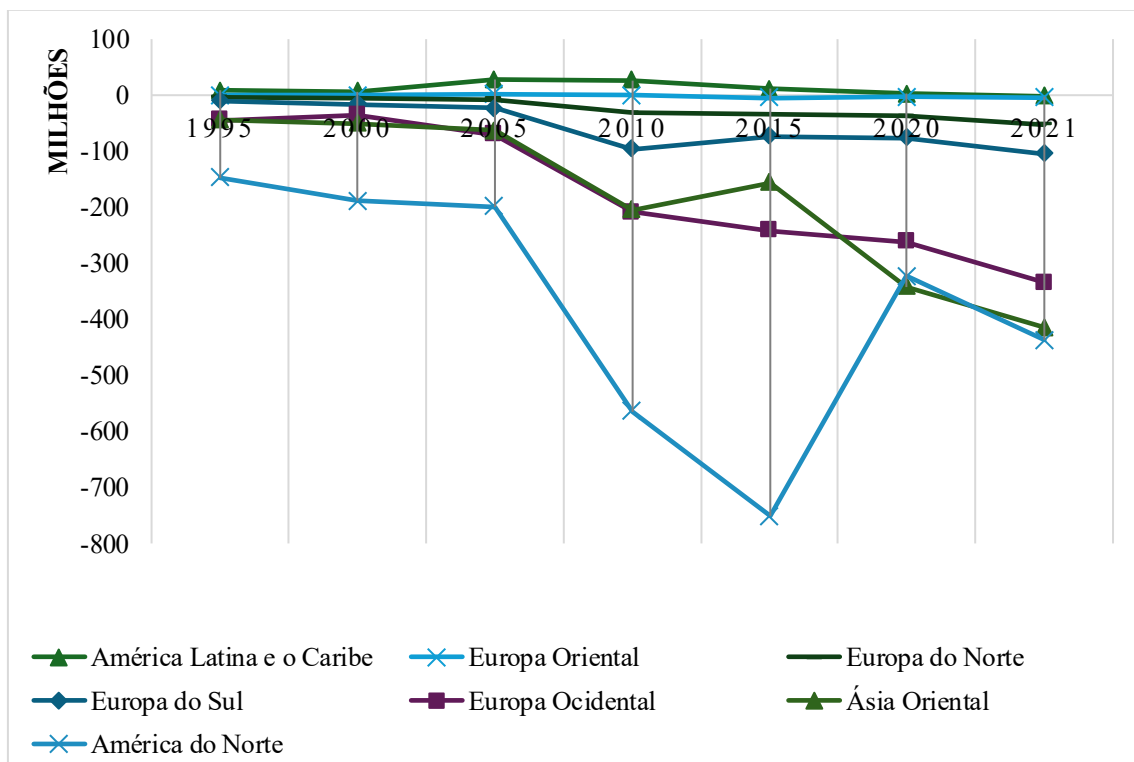


Gráfico 12: Balança comercial brasileira de instrumentos médicos, subcontinentes selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

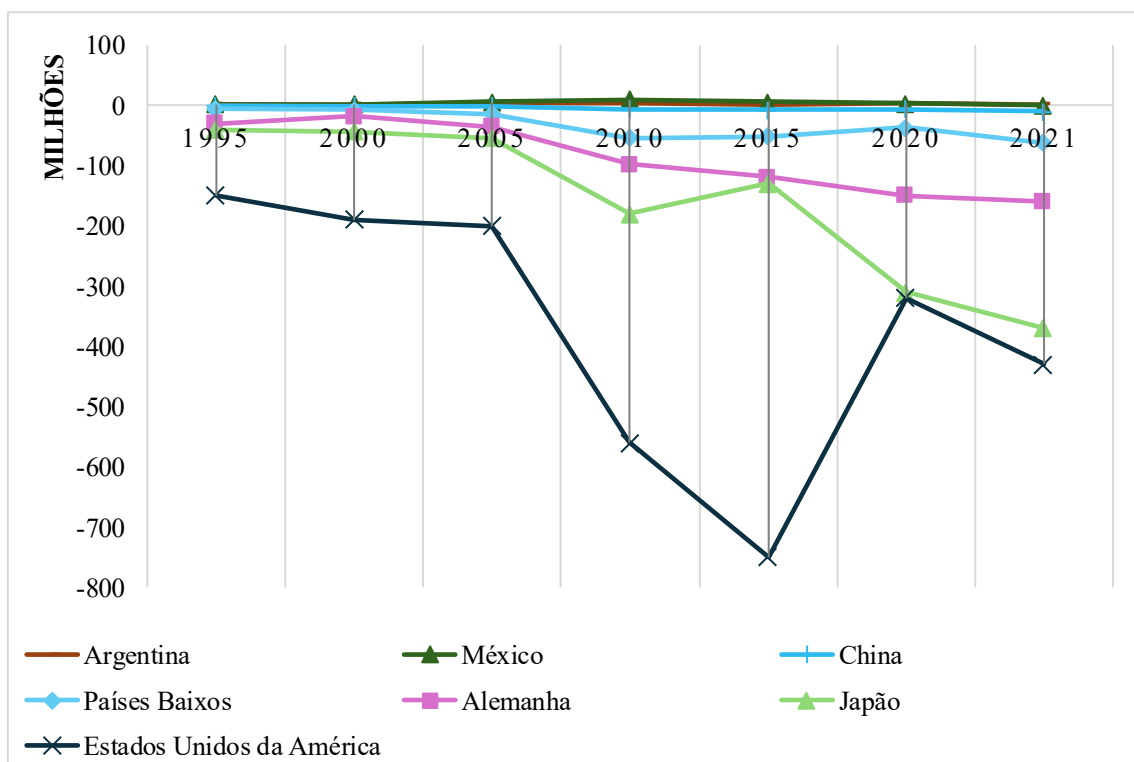


Gráfico 13: Balança comercial brasileira de instrumentos médicos, países selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

6.2.3. Instrumentos para Ciências Médicas – panorama mundial

Em 1995, o subsegmento de instrumentos para ciências médicas representava 66 % do valor total dos instrumentos médicos, estimado em US\$ 14 bilhões. Em 2021, essa fatia recuou para 43 % ($\approx$ US\$ 65 bilhões), sinalizando que os demais subsegmentos avançaram mais rapidamente. A contração concentrou-se na segunda metade dos anos 1990 e estabilizou-se, a partir de 2000, no intervalo 40% e 45% (Gráfico 14).

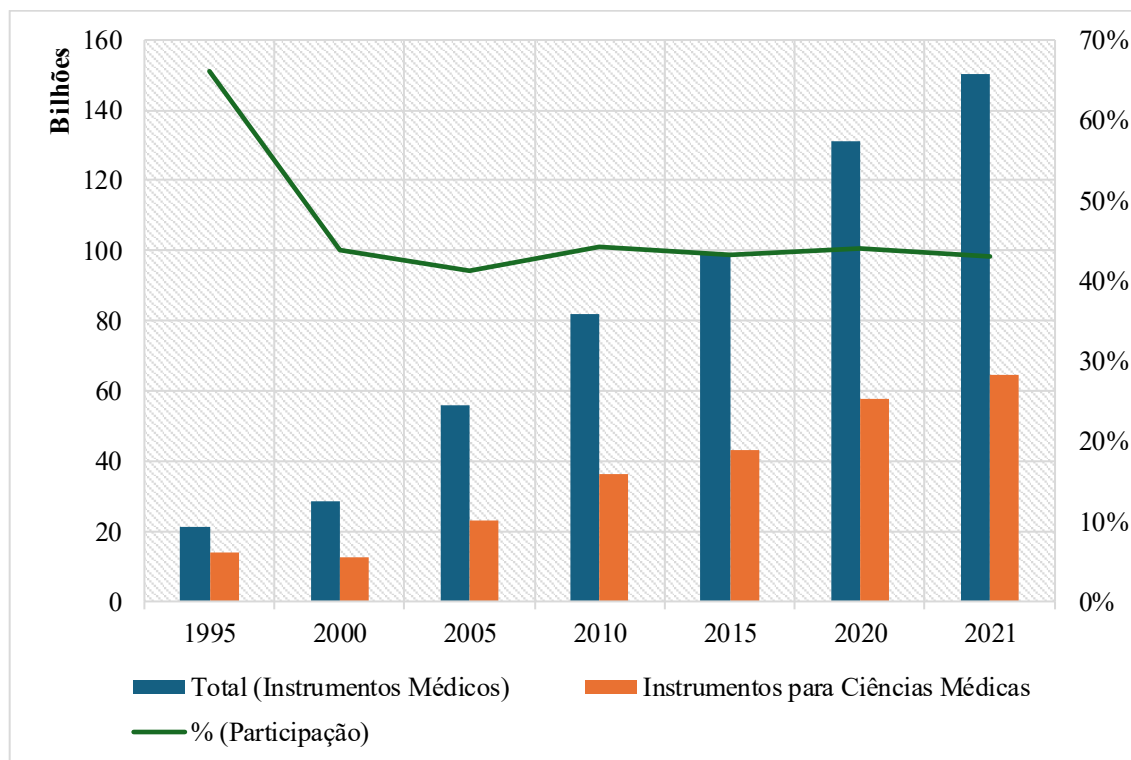


Gráfico 14: Mercado global de instrumentos para ciências médicas (1995-2021).

Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

Todas as regiões cresceram, ainda que de forma desigual. Europa Ocidental ($\approx$ US\$ 18 bi) e América do Norte ($\approx$ US\$ 15 bi) mantêm a liderança, mas perderam participação relativa para a América Latina, cuja cifra passou de US\$ 1 bi (2000) para US\$ 10 bi (2021). Ásia Oriental e Sudeste Asiático também avançaram, atingindo US\$ 7 bi e US\$ 3 bi, respectivamente. Já Europa Setentrional e Europa Meridional exibiram expansão mais modesta, enquanto Europa Oriental saltou de US\$ 0,1 bi (2000) para US\$ 1,6 bi (2021), confirmando a tendência de dispersão manufatureira para regiões de custos comparativamente mais baixos no tocante ao trabalho (salários, principalmente).

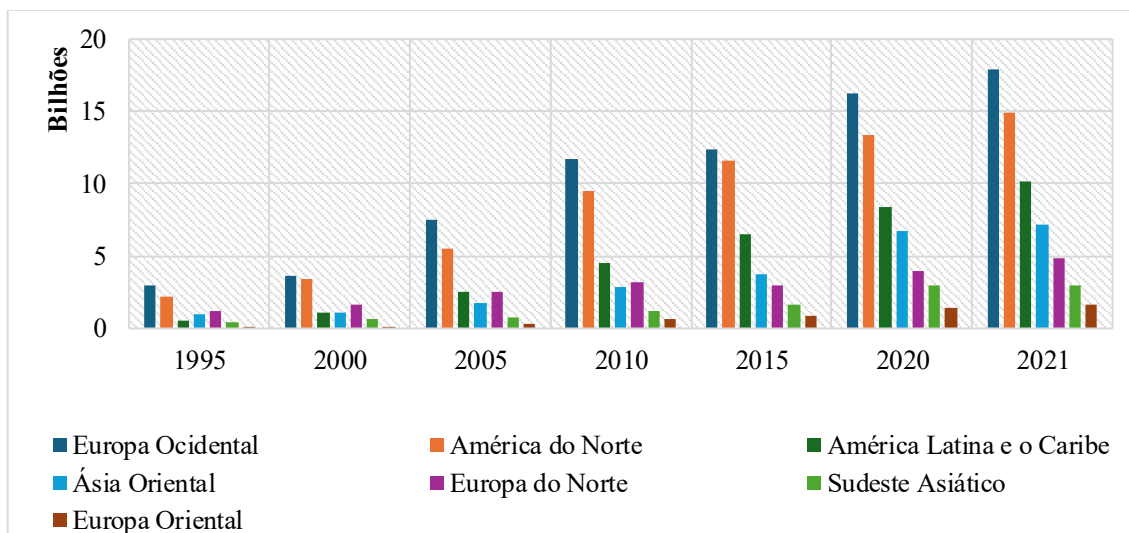


Gráfico 15: Exportações de instrumentos para ciências médicas, subcontinentes selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

Estados Unidos e Alemanha lideram em valores absolutos (US\$ 14 bi e US\$ 7,6 bi, respectivamente, em 2021). México apresentou trajetória ascendente, alcançando US\$ 7 bi. China (US\$ 3,7 bi) e Costa Rica (US\$ 2 bi) cresceram acima da média mundial. Na Europa, destacam-se Países Baixos (US\$ 4,7 bi), Irlanda (US\$ 2 bi), Bélgica (US\$ 2 bi) e Suíça (US\$ 1,7 bi). Japão avançou mais lentamente (US\$ 2,1 bi). Em menor escala, sobressaem Singapura (US\$ 1,1 bi), Israel (US\$ 1 bi) e Vietnã (US\$ 0,6 bi). O Brasil mantém posição marginal ($\approx$ US\$ 36 mi).

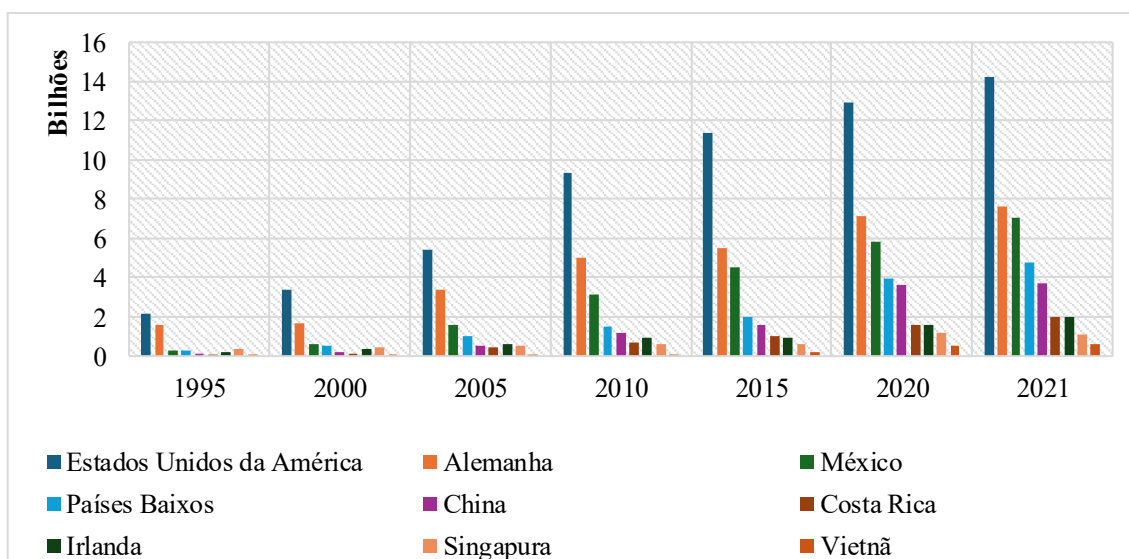


Gráfico 16: Exportações de instrumentos para ciências médicas, países selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

Nas importações, América do Norte e Europa Ocidental permanecem mercados-âncora (≈ US\$ 17 bi e US\$ 15 bi em 2021, respectivamente). Europa Setentrional e Europa Meridional registraram cerca de US\$ 4 bi cada. Ásia Oriental consolidou-se como grande compradora (≈ US\$ 10 bi), enquanto América Latina e Europa Oriental movimentaram US\$ 4 bi e US\$ 2,6 bi, nessa ordem.

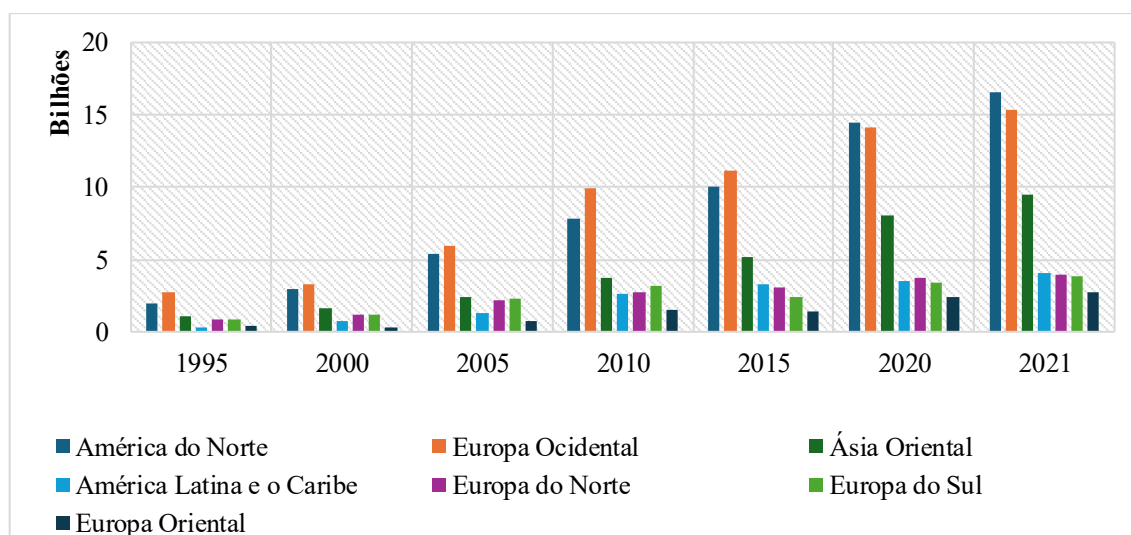


Gráfico 17: Importações de instrumentos para ciências médicas, subcontinentes selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

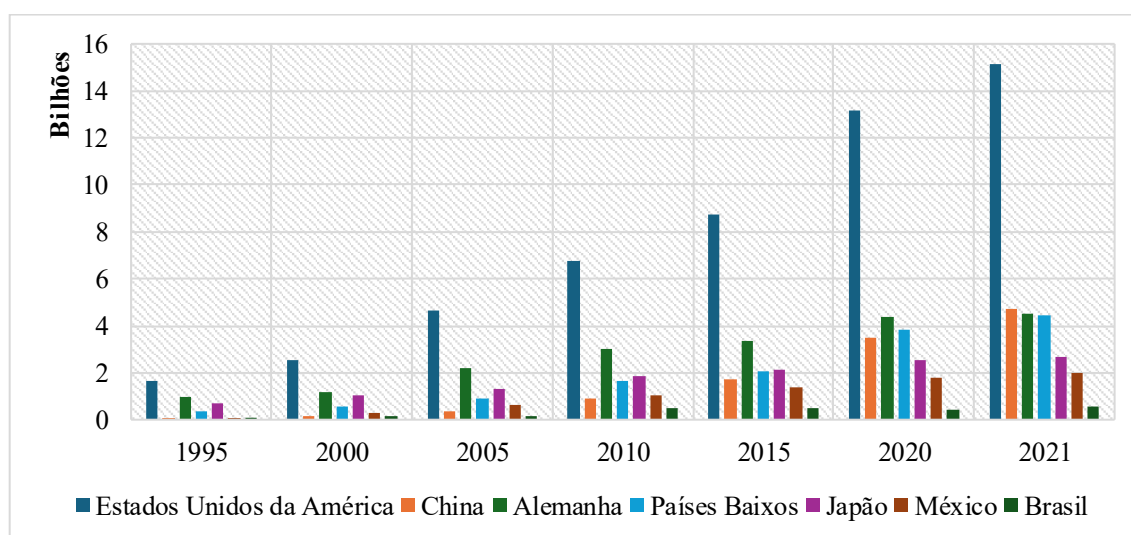


Gráfico 18: Importações de instrumentos para ciências médicas, países selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

Os Estados Unidos lideram como importadores (US\$ 15 bi). Na Ásia Oriental, a China aproximou-se de US\$ 5 bi, enquanto Alemanha e Países Baixos situaram-se em torno de US\$ 4,5 bi cada. Na América Latina, o México desponta (≈ US\$ 2 bi), possivelmente adquirido como componentes para posterior montagem voltada ao mercado norte-americano.

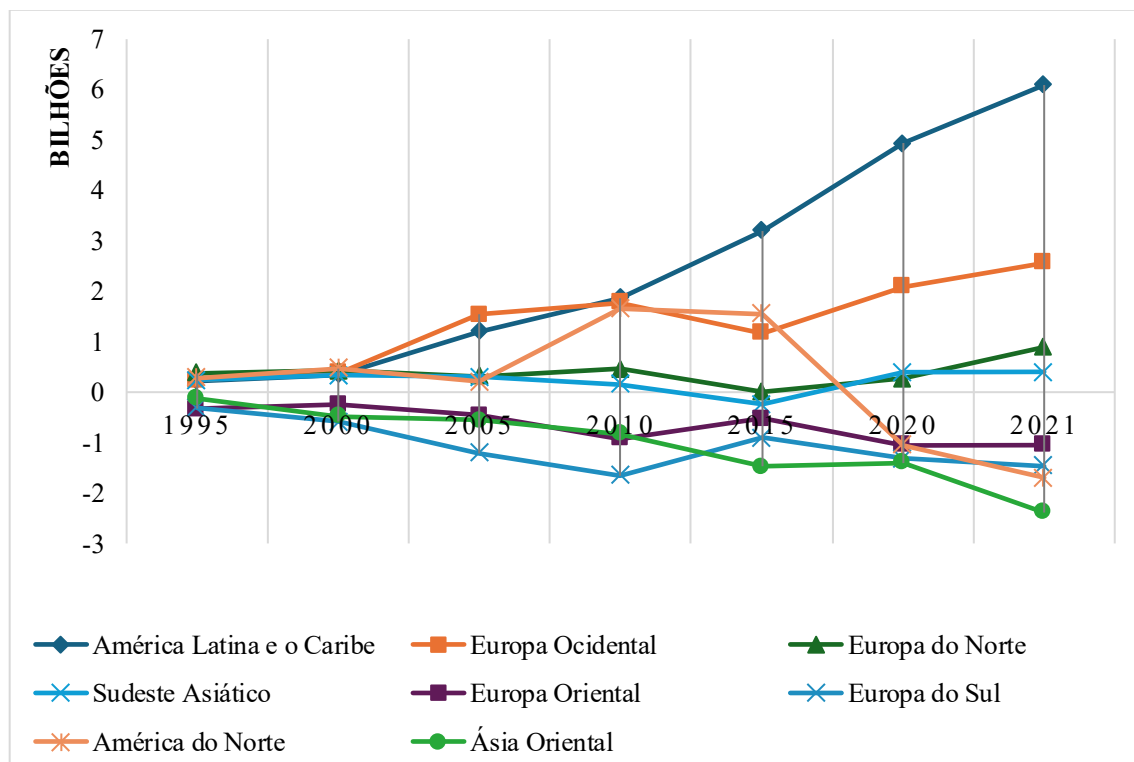


Gráfico 19: Balança comercial de instrumentos para ciências médicas, subcontinentes.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

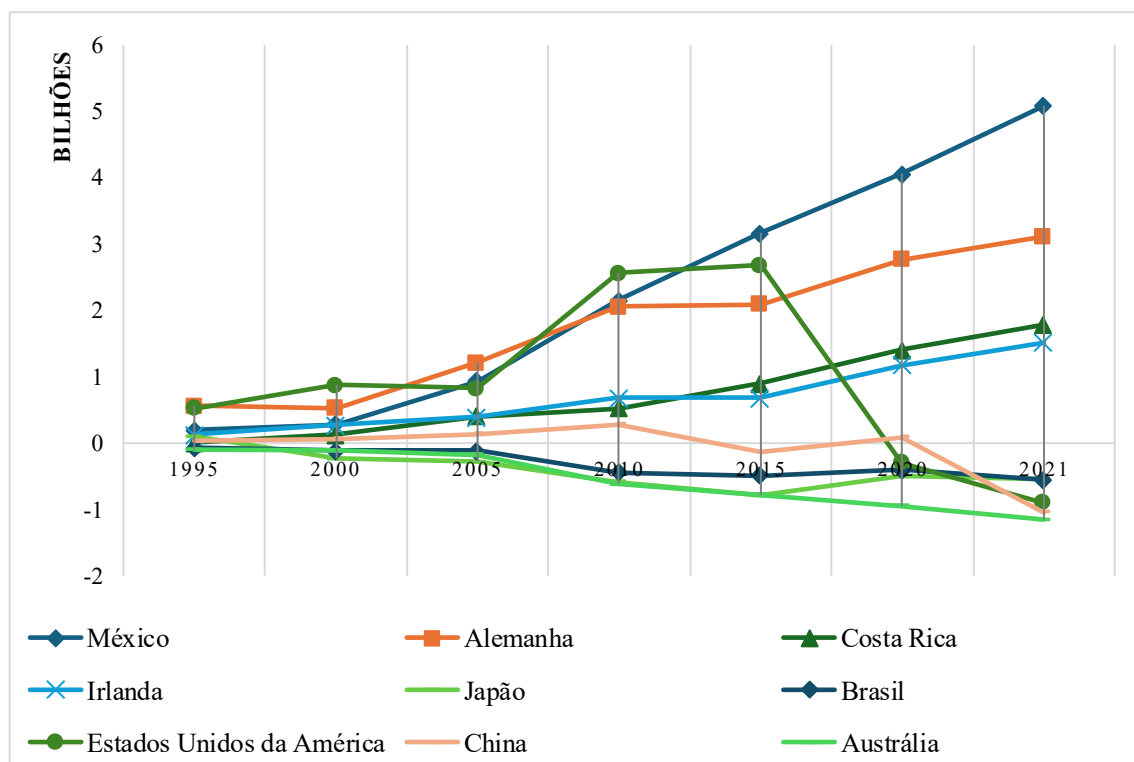


Gráfico 20: Balança comercial de instrumentos para ciências médicas, países selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

A América Latina consolidou-se como exportadora líquida, alcançando superávit de US\$ 6 bi em 2021. Europa Ocidental e Europa Setentrional mantiveram superávits menores (US\$ 2,6 bi e US\$ 0,9 bi). Ásia Oriental ampliou déficit de US\$ 0,5 bi (2000) para US\$ 2,4 bi (2021), enquanto América do Norte passou de superávit (+ US\$ 0,5 bi) para déficit de -US\$ 1,7 bi no mesmo intervalo. Entre os países superavitários destacam-se México (+ US\$ 5 bi), Alemanha (+ US\$ 3,1 bi), Costa Rica (+ US\$ 1,8 bi) e Irlanda (+ US\$ 1,5 bi). No polo deficitário figuram Austrália (- US\$ 1,2 bi), China (- US\$ 1 bi), Estados Unidos (- US\$ 0,9 bi), Brasil (- US\$ 0,55 bi) e Japão (- US\$ 0,53 bi).

A rápida ascensão de México e Costa Rica sugere dinâmica de “maquiladoras” e acordos de preferência comercial, aspecto não investigado, mas cuja análise poderia esclarecer a articulação entre investimento estrangeiro direto e reexportação de alto valor agregado. O superávit comercial desses países não equivale a superação da dependência, o modelo de maquiladoras constitui uma inserção subordinada, de baixa complexidade tecnológica, nas cadeias globais de valor. Os componentes, que concentram a maior parte da P&D, design e propriedade intelectual, são importados para reexportação, dentro de uma estratégia de redução dos custos associados ao trabalho. Ou seja, é possível que uma economia dependente seja comercialmente superavitária e pouco autônoma no tocante à inovação. Países que seguiram pela rota da montagem operam sob um programa de aproveitamento de uma estrutura de custos menor e proximidade estratégica com mercados ricos, raramente tal programa, por si só, reata a dialética entre fecundidade e significância. Contudo, a participação subordinada, pela via da montagem, é melhor do que a relação restrita ao consumo.

6.2.4. Instrumentos para Ciências Médicas – panorama nacional

As exportações brasileiras permanecem pontuais: US\$ 36 mi em 2021, montante muito inferior ao das importações, que passaram de US\$ 75 mi (1995) para US\$ 587 mi (2021). O déficit resultante (- US\$ 551 mi em 2021) supera o observado no agregado 9018, sugerindo que, quanto maior a complexidade tecnológica, maior a dependência de importações. Atividades intensivas em P&D exigem certificações rigorosas, investimentos vultosos e uma cadeia de suprimentos regional instalada.

As exportações concentram-se na América Latina, seguida da América do Norte (US\$ 7 mi) e da Europa Ocidental ($\approx$ US\$ 5 mi). Os valores sugerem inserção residual em mercados regulados e de maior exigência técnica.

No lado das importações, Estados Unidos lideram (US\$ 217 mi), acompanhados por Europa Ocidental (US\$ 150 mi) e Ásia Oriental (US\$ 160 mi). A China consolidou-se como segundo fornecedor (US\$ 117 mi), à frente de Japão (US\$ 21 mi) e Coreia do Sul (US\$ 16 mi). Entre os europeus, destaca-se a Alemanha (US\$ 84 mi).

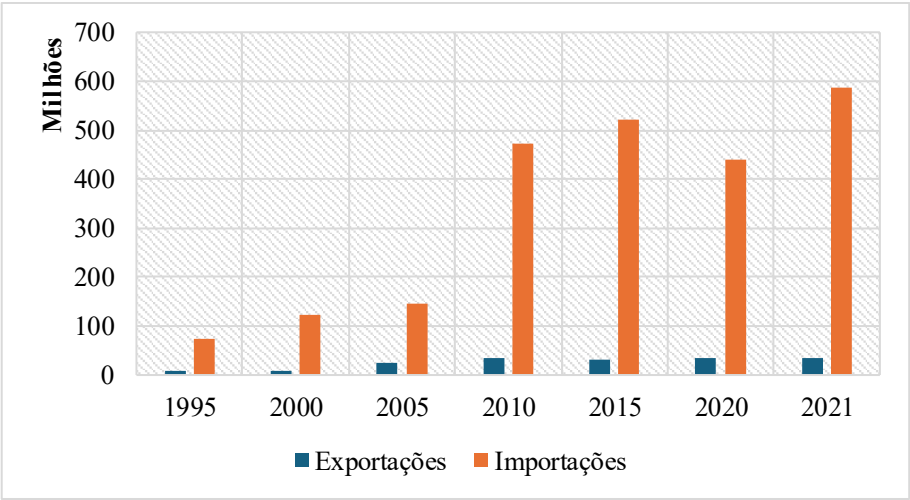


Gráfico 21: Exportações e importações brasileiras de instrumentos para ciências médicas (1995-2021, US\$ nominais).
 Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

País	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
EUA	334,4 mil	429,9 mil	1,17 mi	3,52 mi	3,16 mi	8,85 mi	6,33 mi
Alemanha	490,8 mil	538,4 mil	241,7 mil	841,0 mil	710,2 mil	3,28 mi	954,2 mil
Japão	31,6 mil	1,4 mil	29,8 mil	4,7 mil	40,3 mil	173,2 mil	335,1 mil
China	45,6 mil	230,6 mil	503,9 mil	1,39 mi	616,7 mil	181,2 mil	282,3 mil
Argentina	1,23 mi	1,72 mi	1,26 mi	2,04 mi	1,79 mi	938,2 mil	1,31 mi
Chile	376,3 mil	239,2 mil	1,02 mi	1,07 mi	681,2 mil	1,22 mi	1,52 mi
Peru	121,3 mil	180,4 mil	919,2 mil	1,45 mi	1,52 mi	899,2 mil	1,01 mi
Bolívia	317,9 mil	110,1 mil	538,1 mil	841,6 mil	1,15 mi	969,2 mil	1,13 mi
Colômbia	133,2 mil	262,3 mil	1,81 mi	2,03 mi	2,08 mi	2,60 mi	2,37 mi
Paraguai	362,4 mil	214,8 mil	595,1 mil	1,47 mi	1,18 mi	746,1 mil	1,19 mi
Índia	225,2 mil	264,6 mil	926,9 mil	1,50 mi	511,7 mil	1,10 mi	1,22 mi
Indonésia	0	0	128,9 mil	460,5 mil	1,13 mi	958,2 mil	1,69 mi

Tabela 6: Exportações brasileiras de instrumentos para ciências médicas, países selecionados (US\$ nominais).
 Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

País	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
EUA	36,3 mi	64,0 mi	81,1 mi	244,1 mi	312,7 mi	142,7 mi	217,3 mi
Alemanha	16,3 mi	24,5 mi	22,3 mi	77,6 mi	53,0 mi	81,6 mi	84,1 mi
Japão	5,1 mi	2,7 mi	2,1 mi	11,6 mi	8,7 mi	13,6 mi	20,6 mi
China	437,2 mil	818,5 mil	3,1 mi	18,3 mi	28,7 mi	86,9 mi	117,4 mi
Argentina	405,4 mil	27,8 mil	178,2 mil	1,43 mi	1,84 mi	1,61 mi	1,63 mi
Chile	22,4 mil	15,7 mil	48,1 mil	111,3 mil	192,5 mil	81,8 mil	39,4 mil
Peru	0	0	0	0	0	0	366,3 mil
Bolívia	0	0	0	0	0	0	0
Colômbia	144,6 mil	10,3 mil	2,50 mi	5,42 mi	6,56 mi	5,98 mi	4,96 mi
Paraguai	2,5 mil	0	0	0	0	5,3 mil	0
Índia	28,1 mil	1024,9 mil	1,38 mi	4,06 mi	2,20 mi	2,72 mi	3,11 mi
Indonésia	162,2 mil	0	230,5 mil	138,5 mil	30,9 mil	732,4 mil	1,92 mi

Tabela 7: Importações brasileiras de instrumentos para ciências médicas, países selecionados (US\$ nominais).
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

Os superávits, outrora restritos à América Latina, converteram-se em déficits – inclusive com México e Colômbia. O maior desequilíbrio registra-se com os EUA (- US\$ 211 mi), seguido por China (- US\$ 117 mi). Déficits adicionais ocorrem frente à Alemanha, Japão e Coreia do Sul, na faixa de dezenas de milhões.

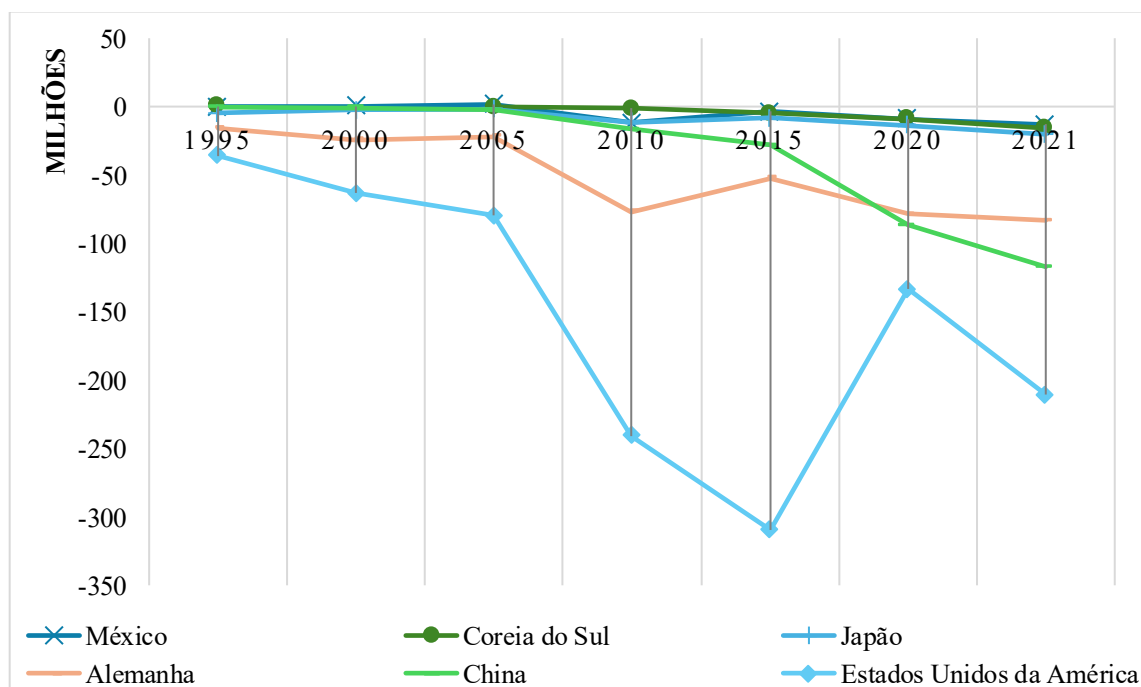


Gráfico 22: Balança comercial brasileira de instrumentos para ciências médicas, países selecionados.
Fonte: Atlas da Complexidade (2024).

Os dados apresentados até aqui (déficits crescentes, marginalidade das exportações brasileiras, concentração de fornecedores em poucos polos) manifestam o que denominamos de interrupção da dialética e coprodução da dependência. Porém, identificar padrões não significa argumentar que a composição das assimetrias entre países é estática. O capitalismo é global e países “centrais”, como os EUA, estão em trajetória de déficit acelerado. Apesar disso, conservam no cenário de reconfiguração, com a emergência da China, parte do protagonismo tecnológico – com dificuldades, vale ressaltar. Quanto as exportações de instrumentos médicos o Brasil pertence ao grupo de países que não capturou a dispersão da manufatura, como México, Costa Rica e cada vez mais a dependência brasileira se orienta para um único polo, a China.

6.3. Projeções para o mercado de Interfaces Cérebro-Computador (ICCs)

As estimativas de mercado para ICCs divergem substancialmente, dependem de relatórios pagos, cujas metodologias não são públicas; essa opacidade favorece discrepâncias e potencial viés especulativo, com uma base empírica frágil – evidência de uma incerteza ontológica, uma aspiração extremamente frágil.⁶⁶ Há, contudo, consenso de que o setor deverá manter taxas anuais de 10% e 18%, superando a expansão média dos instrumentos médicos em geral. A amplitude das projeções, que vai de centenas de milhões a dezenas de bilhões de dólares em horizontes semelhantes, reflete diferenças na forma como cada consultoria define e mede o escopo.

Observa-se que as soluções não-invasivas baseadas em EEG respondem por 60% e 80% da receita atual e projetada, além da maior parte da demanda; interfaces parcialmente ou totalmente invasivas tendem a avançar lentamente devido às barreiras cirúrgicas, custo e regulação. A maioria das consultorias converge ao apontar América do Norte como principal mercado, seguida por Europa; Ásia-Pacífico desponta como polo de crescimento acelerado. Barreiras regulatórias, despesas de P&D e escassez de profissionais qualificados figuram entre os principais obstáculos, mas a evolução de IA, robótica e neuroimagem deve impulsionar a adoção.

⁶⁶ Sobre limitações metodológicas em previsões de deep-tech, ver IEEE Standards Roadmap: Neurotechnologies for Brain-Machine Interfacing (2020) e IEEE Brain/BMI project pages. Para análises periódicas acessíveis, consultar os IEEE Spectrum “BCI market & technology” briefs, p.ex. Oxley (2023) e relatos de tendências emergentes na IEEE Computer Society (2025 Tech Trends). Essas fontes não fornecem séries financeiras completas, mas oferecem dados qualitativos e estimativas pontuais que podem auxiliar futuras investigações.

Categoria	Segmentos / Exemplos
Componentes	Hardware (sensores, amplificadores, cabos, placas de aquisição) Software (algoritmos de pré-processamento, decodificação, IA, APIs de integração)
Produtos	Não-invasivo (EEG de superfície, fNIRS de touca) Parcialmente invasivo (ECoG subdural, eletrodos percutâneos) Invasivo (implantes intracorticais, microeletrodos Utah, stent)
Aplicações	Tecnologias assistivas (comunicação aumentativa, controle de cadeira de rodas) Reabilitação neurológica (AVC, lesão medular, exoesqueletos) Outras (games, militar, bem-estar, otimização cognitiva)
Usuários finais	Hospitais e clínicas Centros de reabilitação Cuidados domiciliares
Tecnologias de medição	EEG – eletroencefalografia de superfície fMRI – ressonância magnética funcional MEG – magnetoencefalografia ECoG – eletrocorticografia fNIRS – espectroscopia funcional no infravermelho-próximo

Quadro 5: Taxonomia padronizada do mercado de Interfaces Cérebro-Computador (ICCs).
Fonte: Markets And Markets, 2023.

Fonte	Horizonte*	Mercado inicial (US\$ bi)	Mercado final (US\$ bi)	CAGR (%)	Destaques
Markets & Markets (2024)	2024 → 2029	0,26	0,51	14	EEG não-invasivo domina; envelhecimento populacional impulsiona demanda; NA e EU concentram receita
Mordor Intelligence (2024)	2024 → 2029	2,00	3,25	10	Estimativa ampla (inclui hardware + software); foco médico/assistivo
Prudence Research (2023)	2023 → 2033	2,35	10,90	16	América do N. (~40 %) > EU (28 %) > APAC (21 %); 64 % hardware, 82 % não-invasivo
Market.us (2023)	2023 → 2033	2,00	10,65	~18	63 % não-invasivo; segmento médico (47 %) lidera; APAC acelera
Grand View Research (2024)	2024 → 2030	2,44	6,52	18	América do N. ~40 %; 46 % das receitas em aplicações médicas
Exactitude Consultancy (2023)	2023 → 2033	2,91	7,63	15	NA ~40 %; 86 % não-invasivo; hardware vs. software em proporção semelhante
Morgan Stanley (2024)**	2021 → 2035 (EUA)	–	1,50	n/d	Cenário: penetração de 3 % do mercado potencial de 10 M pacientes; custo implante US\$ 25–60 k

Tabela 8: Projeções para o mercado global de ICCs.

(**) Projeção restrita aos EUA; o relatório estima um mercado potencial global (implantes) de ~US\$ 400 bi, mas com adoção lenta.

Fonte: Elaboração própria.

6.4. 2045 – Aprofundamento da dependência estrutural?

Anteriormente, no capítulo 5, argumentou-se que, com a interrupção da dialética o valor controle continua a orientar a coprodução entre ciência e sociedade (tecnociência), contudo isso se dá pelo consumo num mercado global. Nas periferias o ciclo contextualizado de internalização de capacidades em inovação é fraco, aspiracional, pois não encontra nas condições de contorno uma legitimidade ampla que lhe dê suporte. As projeções a seguir buscam uma análise de cenário para o horizonte 2035-2045, mantidas as trajetórias atuais para o segmento de instrumentos médicos. A partir das séries 1995-2021 de exportações e importações brasileiras por subcontinente, calculou-se a CAGR e aplicaram-se três fatores hipotéticos:

Cenário	Fator aplicado	Racionalidade
Manutenção	100 % do CAGR histórico	Condições macro e tecnológicas estáveis
Desaceleração	75 % do CAGR	Menor dinamismo do comércio mundial
Aceleração	125 % do CAGR	Intensificação das assimetrias existentes

Quadro 6: Racionalidade de cada cenário projetado.
Fonte: Elaboração própria.

Abaixo mapa de calor do saldo projetado combinado a uma tabela que destaca três blocos críticos em 2045: Ásia Oriental, Europa Ocidental e América do Norte.

Subcontinente	Manutenção		Desaceleração		Aceleração	
	2035	2045	2035	2045	2035	2045
<i>América Latina e Caribe</i>	-118	-454	-70	-218	-187	-883
<i>América do Norte</i>	-680	-720	-622	-726	-732	-548
<i>Europa Ocidental</i>	-996	-2177	-764	-1379	-1291	-3392
<i>Europa Meridional</i>	-352	-831	-263	-505	-470	-1358
<i>Europa Oriental</i>	-25	-77	-17	-40	-36	-141
<i>Sul da Ásia</i>	-88	-261	-60	-138	-125	-470
<i>Ásia Ocidental</i>	-103	-272	-74	-155	-142	-476
<i>Norte da África</i>	5	10	4	7	6	14
<i>Europa Setentrional</i>	-210	-556	-151	-318	-292	-974
<i>Ásia Oriental</i>	-1382	-3266	-1031	-1979	-1847	-5368
<i>Sudeste Asiático</i>	-133	-366	-95	-204	-185	-642
<i>África Subsaariana</i>	-9	-49	-5	-20	-16	-113
<i>Austrália e Nova Zelândia</i>	-44	-123	-31	-67	-61	-219

Tabela 9: Projeções para a balança comercial brasileira de instrumentos médicos para 2035 e 2045 (US\$ Mi.).
Fonte: Elaboração própria.

6.4.1. Análise de Cenários

Nos três cenários projetados a modernização via importação pode bloquear a transição para um padrão de desenvolvimento mais autônomo, com aprendizado socialmente distribuído e

contextualizado. Quanto maior a sofisticação tecnológica (ICCs, IA clínica, sensoriamento neural), maior a distância entre países que detêm o ciclo completo da inovação e aqueles que apenas consomem ou montam. A decisão política sobre qual caminho seguir é complexa e constitui, em última instância, uma escolha sobre o lugar que o país ocupará nessa fronteira.

- (i) **Manutenção:** No cenário de continuidade do ritmo histórico, o déficit global ultrapassa 9 bilhões de dólares em 2045. A Ásia Oriental, sozinha, passa a absorver mais recursos do que Europa Ocidental e América do Norte somadas, enquanto estas mantêm participação relevante. Trata-se de uma dependência estável, porém profunda: a indústria nacional não colapsa, mas cede terreno ano a ano, sustentada por importações que se tornam pré-requisito básico para o funcionamento do SUS. Em outras palavras, permanece não resolvida a tensão entre a significância, atrelada ao controle via consumo e a fecundidade quase ausente pelas condições precárias de desenvolvimento e manufatura. O Brasil moderniza-se sem internalizar as competências que estabilizariam e aprofundariam esse processo a longo prazo, regredindo por inércia.
- (ii) **Desaceleração:** Se o comércio mundial arrefecer e o Brasil crescer a 75% da taxa histórica, o déficit cai para cerca de 5,7 bilhões em 2045. À primeira vista, parece um alívio, porém dois terços do consumo doméstico continuariam cobertos por importações e o desequilíbrio permaneceria concentrado nos mesmos polos tecnológicos. O risco maior é a autocomplacência: a redução nominal do déficit pode legitimar políticas de curto prazo que adiem decisões estruturantes. O valor “controle” cede espaço à ilusão de “gestão da escassez”.
- (iii) **Aceleração:** Caso as assimetrias se intensifiquem (125 % do CAGR), o déficit supera 14 bilhões de dólares. A Ásia Oriental atinge algo próximo a 5,4 bilhões, a Europa Ocidental rompe a barreira dos 3 bilhões e até sub-regiões antes marginais (América Latina, Europa Meridional) passam a pesar no vermelho. Aqui a dialética se tensiona ao limite. O déficit passa a comprometer ainda mais o espaço fiscal, a autonomia regulatória e capacidade de resposta se reduz. A dependência extrapola a contabilidade e torna-se existencial: o país arrisca-se a ser mero terminal consumidor da revolução medtech-digital, incluindo as futuras Interfaces Cérebro-Computador (ICCs), cujo desenvolvimento altamente concentrado aprofunda o hiato cognitivo entre polos produtores e usuários.

6.5. Considerações finais

Este capítulo demonstrou, a partir de dados de comércio internacional, que a posição brasileira no mercado de instrumentos médicos é marcada por uma trajetória de dependência em aceleração, de regressão produtiva da indústria brasileira, manifestada na baixa diversidade de bens produzidos localmente. O padrão subordinado é generalizado, não é uma característica distintiva desse setor. Enquanto a Ásia Oriental reconfigurou as cadeias globais, num movimento para as etapas de maior valor agregado e a Europa Ocidental preserva alguns nichos de alta e média complexidade, com muita dificuldade e pressionada por EUA e China, o Brasil ancora a sua modernização em importações de tecnologia cujos valores crescem de modo generalizado, mas que são compensadas pela alta produtividade do complexo agroindustrial e extrativo, numa dinâmica de reprimarização, e implicitamente de expansão da fronteira agrícola

e mineral. A base brasileira de empresas que exportam alta tecnologia é muito pequena e as comparações internacionais revelam uma assimetria entre países muito difícil de ser ignorada, quando não acachapante. A análise sugere que a dependência se tornou mais rígida, e as oportunidades de inserção, via competição no mercado global, mais estreitas. As análises otimistas sobre a isenção brasileira indicam estagnação. O sucesso tem sido a manutenção da massa crítica em atividades de alta complexidade e estabilização de um padrão de inovação doméstico, que não gera divisas.

No tocante aos instrumentos médicos, os mais sofisticados (para ciências médicas), notamos uma forte concentração nos EUA, Alemanha e mais atualmente China. Ainda que parte relevante do consumo de instrumentos médicos seja atendido pela produção doméstica, cerca de metade, nota-se que nos subsegmentos de maior intensidade tecnológica, como instrumentos para ciências médicas (que incluem equipamentos de imagem, robótica hospitalar e potencialmente ICCs), o déficit projetado para 2045 atinge, mesmo no cenário de desaceleração, um volume preocupante. A título de comparação, o orçamento do SUS em 2024 foi de 231 bilhões de reais, no cenário de aceleração, o déficit poderia ficar em torno de 70-90 bilhões. Mesmo considerando que a maior parte do custo não será absorvido pelo SUS, irá comprometer uma parte relevante do orçamento, agravando o cenário em que se contrata um instrumento, mas não se consegue liquidar a sua compra caso cortes nos investimentos sejam impostos.

Atualmente, o orçamento federal para equipamentos médicos oscila entre 3 bilhões e 5 bilhões de reais, cerca de 2% do orçamento anual do SUS. Isso sugere um padrão de custo concentrado na manutenção da infraestrutura existente e, frequentemente, um cenário de subfinanciamento que penaliza os cidadãos, principalmente os mais pobres, com a falta ou dificuldade de acesso aos dispositivos e equipamentos médicos. Movimentos recentes, como a criação da meta de *“70% das necessidades do SUS em equipamentos ser suprimida pela produção local”*⁶⁷, da *‘garantia de compra pública para empresas que se comprometam a fabricar instrumentos no Brasil,’*⁶⁸ e da inclusão de *‘bens e serviços de informação e*

⁶⁷ “Governo Federal destina R\$ 4,2 bilhões para alavancar indústria da saúde e atender necessidades do SUS”, Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares, Governo do Brasil, 15 de outubro de 2024. Disponível em: ><https://www.gov.br/ebserh/pt-br/comunicacao/noticias/governo-federal-destina-r-4-2-bilhoes-para-alavancar-industria-da-saude-e-atender-necessidades-do-sus><.

⁶⁸ “Oportunidades para o mercado de equipamentos e dispositivos médicos com a retomada do CEIS”, Associação Brasileira da Indústria de Tecnologia para Saúde (ABIMED), 27 de agosto de 2024. Disponível em: ><https://abimed.org.br/noticias/oportunidades-para-o-mercado-de-equipamentos-e-dispositivos-medicos-com-a-retomada-do-ceis/><.

*conectividade em saúde*⁶⁹ como prioridade pelo Grupo Executivo do Complexo-Industrial da Saúde (GECEIS), visam reduzir a dependência no setor, introduzindo o conceito de “soberania sanitária”. Representantes da indústria alegam capacidade para atender a maior parte do mercado de dispositivos, necessários para a modernização dos serviços de saúde iniciada em 2023 com o Novo PAC.⁷⁰ Recentemente a distinção entre montagem e internalização tecnológica foi reconhecida como critério normativo.

Do ponto de vista da dialética entre valores sociais e cognitivos, reitera-se o paradoxo identificado há décadas pela Escola da Dependência. O Brasil converte descobertas científicas em consumo, sob uma base social muito desigual; moderniza-se, mas não constrói o arranjo produtivo e desenvolvimento que reintroduz o conhecimento na indústria local. Ao contrário, a própria expansão da fronteira médico-digital, ilustrada pelas ICCs no longo-prazo, aprofunda a clivagem entre quem produz os algoritmos, sensores e protocolos que formam os novos dispositivos, de quem apenas os adquire como bens acabados. Nas periferias se importa o controle, enquanto nos centros esse valor social está articulado de tal maneira que a fecundidade da ciência local gera os ciclos de reforço mútuo, virtuosos sob a perspectiva capitalista. O déficit comercial é a superfície do problema, de uma hierarquia profunda, fundada na subordinação do conhecimento ao resultado material, a capacidade de competir por mercados.

Os cenários apresentados (manutenção, desaceleração e aceleração) mostram variações de ritmo, mas não de direção. Todos pertencem ao mesmo espaço de possibilidades, de uma assimetria que prejudica a sustentabilidade do SUS, restringe a formação de competências nacionais e coloca em risco a soberania de dados biomédicos, muito sensíveis. O contraste com México e Costa Rica sugere que inserir-se em cadeias globais não é, por si, um antídoto contra a dependência. Perguntar sob o tipo de inserção importa mais

Do ponto de vista metodológico, cumpre salientar que a falta de séries sobre a produção doméstica impossibilita calcular o consumo e, por conseguinte, estimar a verdadeira elasticidade da dependência brasileira. A análise econômica não explica, por si só, a função dos valores sociais, narrativas de disrupção e imaginários biomédicos que moldam decisões de compra, políticas de incentivo e a própria aceitação social de tecnologias emergentes, como as

⁶⁹ BRASIL, Decreto nº 11.464, de 3 de abril de 2023. “*Dispõe sobre o Grupo Executivo do Complexo Econômico-Industrial da Saúde*”. Disponível em: > <https://legis.senado.gov.br/norma/36940165/publicacao/36942026><.

⁷⁰ “*Fabricantes brasileiras podem atender a 80% da demanda por dispositivos no Novo PAC da Saúde*”, Associação Brasileira da Indústria de Dispositivos Médicos (ABIMO), 19 de setembro de 2024. Disponível em: > <https://abimo.org.br/noticias/fabricantes-brasileiras-podem-atender-a-80-da-demanda-por-dispositivos-do-novo-pac-da-saude/><

Interfaces. O *proxy* adotado (códigos 9018/9018.90) agrega produtos diferentes, não isola com precisão os fluxos específicos do desenvolvimento e manufatura de dispositivos neurais e ICCs, é um caminho indireto que caracteriza o contexto mais próximo. A análise das importações não distingue o que é importação estratégica do que é pura e simplesmente dependência. A inserção, nos moldes de um controle aspiracional, exige algum grau de abertura e subversão, apesar de continuar a reiterar um padrão de desenvolvimento desigual e subordinado. Também não é adequada para investigar a participação nacional em estágios de maior valor agregado, como P&D, *design* e serviços. As lacunas desse estudo, enquanto um conjunto, justificam a adoção de métodos mistos, de orientação sociológica e da economia política, que combinem estatísticas de comércio, estudos de cadeia de valor e análise da retórica oficial, dos Estados e empresas, para compreender a ordem social subjacente. Como um conjunto, essas informações são subsídios importantes para a elaboração de políticas públicas que, atentas ao problema da legitimidade volátil da PCT, quando não a erosão dela, busquem uma maior clareza sobre quais os problemas a serem resolvidos a longo-prazo, em que contexto estão inscritos e quais atores precisam ser mobilizados.

Conclui-se que enfrentar o déficit não se resume a calibrar tarifas ou a atrair, por si só, o investimento estrangeiro. Supõe reconfigurar o arranjo sociotécnico, da produção simbólica à produção material, em que a ciência, a indústria e o sistema de saúde dialoguem sob um horizonte de autonomia. Desse modo a fecundidade científica poderá converter-se em significância econômica e em bem-estar social, reativando a dialética onde hoje ela se interrompe. A criação do Programa de Desenvolvimento e Inovação Local (PDIL), em 2024, pode ser lida como uma tentativa de reconfiguração. Diferentemente das PDPs tradicionais, que transferem tecnologia existente, o PDIL visa fomentar soluções originais para desafios de saúde que não possuem alternativa tecnológica disponível, ou onde a tecnologia existente é inadequada ao SUS.⁷¹ O programa reconhece que o Brasil não produz o que precisa e que a transferência não resolverá o problema, também estabelece que não é aceitável apenas a montagem final (embalagem/rotulagem) e institui mecanismos de monitoramento para evitar PDPs de papel que nunca resultam em autonomia. Dito isso, a análise empreendida aqui pode ser um insumo para as discussões realizadas no âmbito desse programa, lançando algum luz, mesmo que indireta, para os instrumentos médicos.

⁷¹ BRASIL, Portaria GM/MS N° 4.473, de 20 de Junho de 2024. “*Altera a Portaria de Consolidação MS n° 5, de 28 de setembro de 2017, e institui o Programa de Desenvolvimento e Inovação Local - PDIL.*”. Disponível em: >https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2024/prt4473_21_06_2024.html<

7. O que se espera das interfaces cérebro-computador?

Nesta seção analisa-se, com enfoque na construção da legitimidade, os imaginários sociotécnicos associados às interfaces cérebro-computador (ICCs). Parte-se da premissa de que os imaginários funcionam como mediadores entre a ciência e ordem social, que constituem um domínio privilegiado para a coprodução. A maioria absoluta do corpus da pesquisa é formado de matérias publicadas sobre ICCs entre 2020 e 2024 em revistas de divulgação científica de ampla circulação – com exceção de 6 matérias entre 2017 e 2020 – incluídas dada a relevância delas para o tema. Considerando que o campo permaneceu, até recentemente com a entrada mais forte da China, fortemente ancorado nos Estados Unidos, as publicações estadunidenses foram priorizadas. Esses veículos reverberam elementos particulares da coprodução nos centros de pesquisa, frequentemente articulados em visões de futuro mais universais que alcançam outros contextos como manifestações da tecnociência, de inovação radical ou disruptiva. Foram extraídos os textos de 121 matérias, entretanto, devido à recorrência de temas e eventos, selecionaram-se para análise 80 delas. Na discussão dos resultados, visando o aprofundamento, informações complementares foram acionadas para explicitar a coprodução dos imaginários.

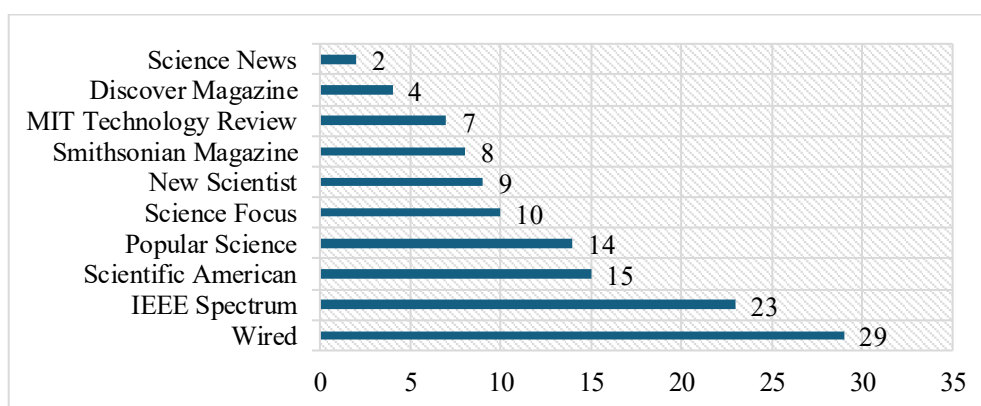


Gráfico 23: Distribuição das matérias por revista (2020-2024).

Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos argumentos mobilizados pelo jornalismo científico, o critério de seleção buscou garantir diversidade temática (interfaces invasivas, assistência e reabilitação, IA, desafios técnicos, neurodireitos e ampliação cognitiva). Para uma apresentação mais fluida, a listagem integral do corpus é apresentada ao final do capítulo, as matérias estão referenciadas no decorrer do texto por algarismos romanos. Destaca-se que o objetivo desse esforço foi caracterizar a narrativa sobre as Interfaces através de uma biografia sociotécnica para o período recente, com foco no contexto estadunidense e suas instituições reputadas como inovadores de classe global.

7.1. Metodologia

A metodologia empregada combinou análise qualitativa de conteúdo, pela leitura das reportagens e elaboração de um fichamento estruturado, com ferramentas de aprendizado de máquina, particularmente o uso de um modelo proprietário de IA, o modelo GPT-4 e o3 da OpenAI. Isso permitiu identificar rapidamente e de forma organizada os padrões temáticos e argumentativos num volume expressivo de material, diminuindo a sobrecarga cognitiva que uma síntese dessa natureza implica. A interpretação pela mobilização da teoria dos valores com o idioma da coprodução permaneceu sob responsabilidade do autor, como uma etapa distinta. Na metodologia ampliada está detalhado o ciclo de trabalho com o modelo de IA.

Cabe explicitar que o uso do GPT foi instrumental, o modelo preparou os resumos temáticos e a cronologia de acontecimentos a partir de um fichamento estruturado pelo pesquisador, separado por revista e matéria. Ou seja, a “automatização” foi parcial. A síntese feita pelo modelo não partiu dos dados brutos e de uma base que, por ser muito grande, o pesquisador não pudesse verificar manualmente – apesar de um viés de *big data* poder ser muito útil para a análise dos imaginários.

Há uma tensão epistêmica no uso de uma ferramenta proprietária de IA cuja concentração de poder foi problematizada no capítulo 3, onde discutimos os significados da disrupção tecnológica. Ela revela a reprodução da dependência de soluções do "centro", do Vale do Silício no caso da *OpenAI*, para um incremento de produtividade acadêmica, numa lógica utilitarista. Nesse sentido, a produção do conhecimento científico é parte do problema e o trabalho aqui apresentado manifesta esse viés – poder-se-ia argumentar que nada disso é muito distinto do uso de outros softwares proprietários, os quais se usa sem entender a programação, mas dada a dimensão da evolução técnica dos modelos de IA nos últimos cinco anos há diferenças: *a iteração com um modelo de linguagem não é a iteração com uma planilha eletrônica ou terminal de programação.*

Por um lado, os modelos de IA aplicados à pesquisa social podem reduzir as barreiras de adoção de métodos automatizados para a extração e categorização de dados, permitindo uma abordagem de *big data* para a análise textual. Por outro, o uso da IA como caixa preta ameaça a reprodutibilidade necessária para a ciência e, quando não há transparência, resulta num conhecimento que mesmo quando plausível e factual pode estar desprovido de significância real – há a performance de uma pesquisa na ausência de um pesquisador consciente deles. A distância que separa o uso de uma IA como andaime, um suporte inicial para inferências, de um

molde, que determina o que se conhece, é às vezes tênue, exige autovigilância e a recusa em delegar decisões-chave.

De modo a conservar a rastreabilidade total do relato, o corpus de análise foi relativamente modesto (n=80) e o uso do modelo foi conservador. Poder-se-ia ter feito, alternativamente, um *web scraping* com extração de dados na ordem de centenas ou milhares e depois, a partir de amostragem aleatória, a seleção de fontes a serem verificadas manualmente. Optou-se por um controle de ponta a ponta: o corpus, apesar de não exaustivo, é representativo do contexto estadunidense das ICCs, com algumas matérias que repercutem feitos europeus ou chineses; o material de base com o fichamento das matérias e o fluxo argumentativo são do pesquisador. Usou-se do GPT para organizar os dados, não para produzi-los. O que se ganha em alcance se perde – ou se deixa de ganhar – em domínio e autonomia.

7.1.1. Escolha das fontes

A abordagem buscou o equilíbrio entre amplitude (diversidade de fontes e períodos) e profundidade (detalhamento dos enquadramentos narrativos e valores subjacentes). A escolha pelas revistas de divulgação científica justifica-se por sua posição estratégica na mediação entre conhecimento e sociedade. Tais publicações informam, contextualizam, traduzem e atribuem valor às inovações, elas funcionam como zonas de transação simbólica nas quais diferentes atores – como cientistas, jornalistas, empresários, formuladores de políticas e público interessado – negociam significados e constroem entendimentos compartilhados sobre as tecnologias emergentes.

As revistas de língua inglesa ocupam posição central nos fluxos de circulação de conhecimento ao especularem sobre achados preliminares de universidades prestigiadas e *startups* localizadas em *clusters* de inovação, definindo a pauta de veículos secundários e difundindo imaginários para além do eixo hegemônico. Esforços complementares poderiam incluir narrativas produzidas localmente no Sul Global, nas suas línguas e canais alternativos, como blogs de pacientes, podcasts e até mesmo ficção científica. Contudo, a ampliação desse horizonte exigiria um desenho metodológico mais automatizado, incluindo tradução – por exemplo, do mandarim para o português ou inglês. São fronteiras de pesquisa que iluminam os limites do trabalho atual, revelando vieses, pontos fortes e fracos. A pesquisa sistemática sempre envolve balanços, não há conhecimento fundado na certeza universal e sim na consciência das restrições.

Diferentemente das publicações acadêmicas, as revistas situam resultados científicos em contextos com implicações amplas, que desaguam em fluxos nos quais as questões de metodologia são eclipsadas pelos resultados práticos, por isso são adequadas para investigar imaginários sociotécnicos – conceito que, por definição, extrapola fronteiras disciplinares, institucionais e nacionais para a ideia de visões de futuro compartilhadas. A divulgação científica exerce ainda um papel decisivo na legitimação social ao apresentar as tecnologias emergentes, incluindo ICCs, dentro de perspectivas articuladas sobre benefícios, riscos e dilemas que os artigos científicos de tipo inovador – que apresentam um novo conceito, resultados experimentais, testes em condições reais – tangenciam sem enfrentá-los como manifestações de um mesmo processo de difusão. A análise de matérias de divulgação permite capturar o que os cientistas muitas vezes não dizem num artigo, sujeito a escrutínio e retratação, mas compartilham com os jornalistas como opinião ou palpite que viajam mais livremente, interpelando conhecimento e imaginários associados à evolução tecnológica, como a significância de um teste clínico ou de um novo dispositivo neural.

7.1.2. Como narrar imaginários sociotécnicos?

O idioma da coprodução de Jasanoff (2004) tem como premissa a mútua constituição entre ordem material e social. Natureza, conhecimento e instituições formam uma mesma tecitura, apesar da diferença lógica entre os conceitos. A natureza implica alto grau de indeterminação, incluindo aqui as dinâmicas tectônicas e contextuais da sociabilidade e cultura; conhecimento sistemático exige práticas compartilhadas e disponíveis para a avaliação cognitiva e mudanças paradigmáticas; instituições exigem regras com validade jurídica e moral, com a capacidade de disciplinar os sujeitos e estabilizar a ordem social. Na prática são inseparáveis, embora exijam o reconhecimento de uma diversidade inerente. O idioma da coprodução não pressupõe uma unidade, tampouco a noção de imaginários dissolve essas diferenças num todo homogêneo. O ponto de articulação está no reconhecimento de que a continuidade é efeito da mútua constituição entre social e natural, com diferentes regimes de valores, que são efetivos porque possuem características próprias e sutilezas. Coprodução não é uma fusão indiferenciada.

Dito isso, as ICCs aprofundam a emergência de identidades híbridas que reconfiguram as perspectivas sobre o uso das tecnologias digitais e de saúde, além dos modos de vivenciar a experiência corpórea e subjetiva de um *self*, de uma pessoa-interioridade como nome, anseios e necessidades. São a manifestação na ponta de uma longa e extensa cadeia de interpelações que desafiam, pela sua complexidade, a teoria social. Concomitante ao hibridismo das

identidades, há processos de normatização que conferem estabilidade a tecnociência. Ao ordenar o ‘*como*’ deve ser alcançado o sucesso, a inovação nesse caso, coproduzem as condições de sua legitimação, desde o *design* (invasivos e não invasivos), dados (ritmos cerebrais, padrões de ativação neural), passando pelas organizações (*startups*, universidades, agências reguladoras), propósitos (assistência médica, ampliação cognitiva), corpos (cobaias, voluntários, usuários) e outros tópicos que combinam a possibilidade de desenvolver com o desejo de implementar.

Já a noção de *imaginário sociotécnico* chama atenção para uma visão de futuro articulada, embora com algum grau de contradição (há uma multiplicação dos riscos inerente a inovação, como segurança e privacidade), que evidencia a continuidade entre o conhecimento científico (o experimentalismo que revela os processos neurais-mentais) e os mecanismos de controle e intervenção (dispositivos e instrumentos médicos). Os dispositivos operam sob a lógica da modelagem do corpo, amparada por métodos computacionais de uso específico (algoritmos de classificação, IA) feitos para estabelecer a correspondência ou correlação entre tais processos com a manifestação de uma intenção, de um padrão de ativação significativo para o usuário, de modo a viabilizar a Interface Cérebro-Computador.

A ousadia do idioma coproducionista consiste em colocar sob escrutínio a estabilização dessa cadeia de interpelações antes da sua difusão como caixa-preta, uma solução de prateleira pronta para uso. No caso das ICCs, encontram-se em estágio intermediário de estabilização. Contudo, não é uma questão se são possíveis de um ponto de vista científico e tecnológico e sim como se tornarão socialmente viáveis, em quanto tempo, sob qual custo e com qual objetivo. Em outras palavras, é uma tecnologia disputada e sua “*biografia sociotécnica*” tensiona as principais forças de estabilização, sem pressupor uma composição livre de ambiguidades. Com isso, evita-se tanto o determinismo tecnológico quanto o reducionismo sociológico.

O conceito de *regimes de valor* complementa o enquadramento por ter como componente central a premissa de que a ciência é duplamente assimétrica, de um ponto de vista cognitivo através de distinções entre relevância e irrelevância social, enquanto centro e periferia, contextos desenvolvidos e subdesenvolvidos, inseridos-globais e excluídos-locais (Lacey, 2008, 2010; Neves, 2020). As interpelações entre *design*, dados, organizações, propósitos e corpos manifestam a dialética entre a precisão (a medida de confiança na correspondência entre atividade cerebral e intencionalidade do *self*) e controle (a capacidade de traduzir essa

correspondência num comando útil), bem como a influência exercida pelas condições de contorno dominantes (capitalismo, militarismo) que implicam dinâmicas sociais de concentração do poder e, no que concerne a relação com saúde e corpo, de uma ética somática (materialista) orientada para o autoaperfeiçoamento (individualismo).

No caso das ICCs o ponto fundamental de interpelação entre natural e social é a invasividade ou não-invasividade dos implantes e sensores, pois borram, de maneira decisiva, as fronteiras entre humano e máquina. O imaginário associado, de um futuro no qual o hibridismo foi aprofundado, no qual a extensão das capacidades mentais ocorre por vias quase espontâneas, destituídas de ruídos, em que pensamento humano e capacidade computacional formam um ciclo iterativo e homeostático, transcende tanto as dicotomias clássicas entre natural e artificial quanto posiciona cientistas e empreendedores numa complexa rede de engenharia social, de construção desse futuro, de chegada ao ponto da “disrupção”.

Mesmo dentro do modo dominante, a tecnociência, há disputas e cisões. Chegar primeiro ao futuro implica, mesmo que temporariamente, controlar o acesso às forças que foram viabilizadas e liberadas pela inovação, que os “atrasados” precisam pagar um prêmio pelo acesso, o que reforça a posição vantajosa do pioneiro. O reforço mútuo, a dialética entre valores sociais e cognitivos, é excludente. A análise do campo das Interfaces revela que há uma equiparação entre invasividade, superioridade tecnológica e por consequência, que métodos não invasivos são a longo prazo transitórios, inferiores, dada a limitações de precisão (resolução da atividade neural-mental) e que as vantagens de segurança e acessibilidade de tecnologias legadas, como o eletroencefalograma (EEG) serão superadas por implantes avançados que se misturam ao corpo, estabelecendo uma continuidade entre natural e artificial com riscos mínimos. Porém, trata-se de uma visão de futuro, a realidade imediata é outra, manifestando numa tensão interna ao campo das Interfaces na forma de ceticismo e crítica ao *hype* da abordagem invasiva. Nesse ponto a dinâmica entre centro e periferia é muito evidente. Nos polos hegemônicos (Vale do Silício, instituições europeias de elite, grandes universidades chinesas) narrativas sobre implantes neurais apoiam-se em demonstrações técnicas, investimentos substanciais e ecossistemas estruturados para viabilizar a transferência para o mercado de tecnologias arriscadas, com alto nível de incerteza. Em contextos periféricos essas mesmas narrativas circulam dissociadas das condições materiais, gerando uma recepção ambivalente, caracterizada pelo entusiasmo com a “fronteira tecnológica” e o ceticismo sobre a viabilidade dos implantes mais avançados.

Dimensão da coprodução	Manifestação empírica	Imaginário associado	Tensão valorativa	Dinâmica centro-periferia
Design	Implantes invasivos vs. sensores não-invasivos	Hibridismo humano-máquina; continuidade natural-artificial	Precisão (resolução neural) vs. Segurança (acessibilidade, risco cirúrgico)	Centro define invasividade como superioridade; periferia recebe como horizonte, opera com EEG
Dados	Ritmos cerebrais, padrões de ativação neural, bases de treinamento de IA	"Internet do cérebro"; cognição como sistema de processamento de informação	Fecundidade (volume, granularidade) vs. Privacidade (neurodireitos, vigilância)	Datasets concentrados em provedores de nuvem do centro; periferia contribui dados, não controla infraestrutura
Organizações	Startups (Neuralink, Synchron), universidades (Stanford, MIT), agências (FDA), militares (DARPA)	Disrupção; corrida tecnológica; "chegar primeiro ao futuro"	Inovação (velocidade, risco) vs. Regulação (segurança, transparência)	Centro possui ecossistemas estruturados; periferia importa normas e lida com a dependência
Propósitos	Assistência médica (reabilitação, comunicação) vs. ampliação cognitiva (<i>enhancement</i>)	Restauração da autonomia; "humano aumentado"; superação dos limites biológicos	Inclusão (acesso terapêutico) vs. Distinção (vantagem competitiva, doping cognitivo)	Narrativa de inclusão legítima investimento no centro; periferia questiona relevância e custo
Corpos	Cobaias (animais), voluntários (pacientes pioneiros), usuários (futuros consumidores)	Corpo como projeto de auto-otimização; ética somática	Experimentação (avanço do conhecimento) vs. Proteção (consentimento, riscos irreversíveis)	Pioneiros visíveis no centro (Noland Arbaugh); periferia como audiência, não como agência

Quadro 7: Aplicação do enquadramento conceitual às ICCs.

Fonte: Elaboração própria.

7.2. Apresentação dos resultados

7.2.1. Desenvolvimentos das Interfaces Cérebro-Computador

A *Neuralink* desenvolveu um implante intracortical denominado “*NI*”, também conhecido como “*The Link*” ou “*Telepathy*”, que começou a ser testado em humanos em 2024. A empresa sugere que os implantes, combinados com outros dispositivos (como câmeras) e estimulação neural, têm capacidades reparadoras, como da visão. O “*NI*” trata-se de um dispositivo sem fio, do tamanho de uma moeda e conectado ao córtex por microfios (n.64), que juntos somam 1024 eletrodos; ele é recarregado por indução e implantado por um robô cirúrgico – comparado a uma “*máquina de costura neural*”, também desenvolvido pela *Neuralink*⁽ⁱ⁾. Meio aos avanços, de novidade contestada por acadêmicos, a *Neuralink* foi acusada por funcionários que falaram à *Reuters* de experimentos com alta letalidade dos animais-cobaias, levantando preocupações sobre segurança⁽ⁱⁱ⁾. A FDA aprovou a pesquisa com voluntários humanos em 2023, um ano

depois, o primeiro voluntário, *Noland Arbaugh* (32 anos, tetraplégico), relatou que 85% dos eletrodos se soltaram, mas que uma atualização de software compensou a perda. Apesar do revés técnico, cerca de mil pessoas se voluntariaram para os experimentos⁽ⁱⁱⁱ⁾. Apesar de recente *Musk*, insiste que os implantes têm uma utilidade geral, não só restaurar funções motoras^(iv). Ele usa da rede social *X*, antigo *Twitter*, para divulgar feitos e especular sobre a viabilização de um controle telepático, como uma estratégia para traír novos voluntários e entusiastas. *Arbaugh*, que ficou conhecido por um vídeo em que jogava xadrez, relatou para a *Bloomberg* que “[...] uma vez que você tem o gosto de usar [o implante], você não consegue parar.”, indicando para uma experiência intuitiva com a Interface da *Neuralink*^(v).



Imagem 12 - Implante Neuralink N1 (“The Link”) desenvolvido pela Neuralink ao lado de uma moeda.
Fonte: Neuralink (2024).

Embora o feito seja novo para a *Neuralink*, criada em 2016, pesquisas dessa natureza ocorrem há muitas décadas; as primeiras remontam os anos 1960 e 1970, em universidades prestigiadas para promover a comunicação de pessoas paralisadas. No período recente, anos 2010, foram financiadas por grandes programas públicos como o *BRAIN Initiative*^(vi). *Nathan Copeland* (39 anos, paraplégico) se juntou a um estudo da *Universidade de Pittsburg* em 2014 e recebeu em 2015 os implantes “*Utah Arrays*”, concebido nos anos 1980 na *Universidade de Utah* e se tornou em 2022 a pessoa com o implante funcional mais duradouro.

Antes disso, o ano de 2004 foi inaugural, com o primeiro implante num humano, também com *Utah Array*, desenvolvido por uma *spinoff* da *Universidade de Utah* chamada *Cyberkinetics* e atualmente manufaturada pela *Blackrock Neurotech*. Em meados de 2022 e 2023, entre 30 e 50 voluntários utilizavam Interfaces implantadas, entre elas a *Utah Array* era o implante mais empregado em pesquisas clínicas, usado em centenas de laboratórios ao redor do mundo^(vii).

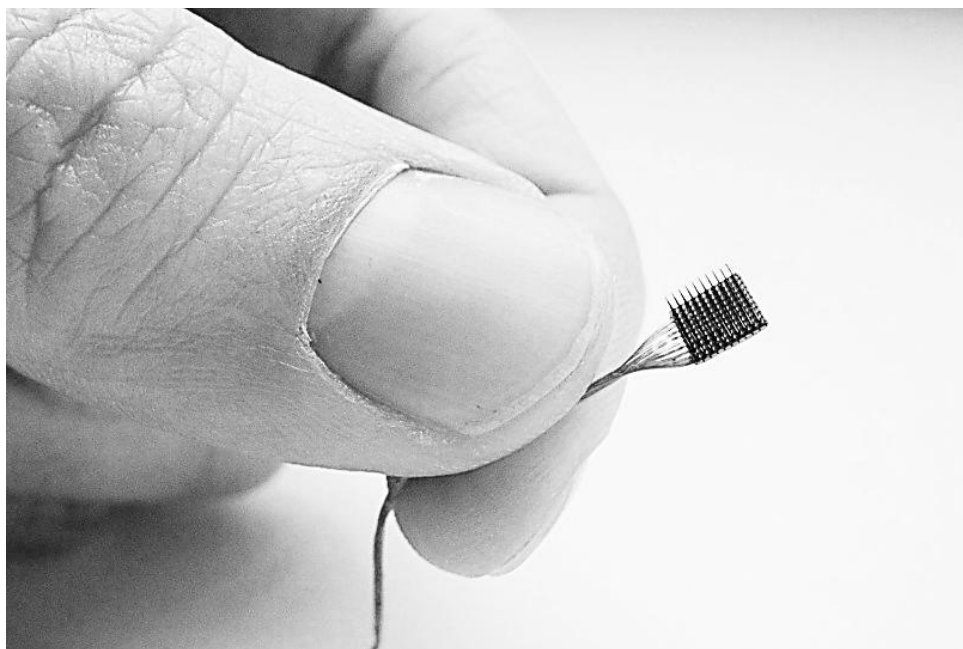


Imagem 13: Utah Array, desenvolvido pela Blackrock Neurotech.
Fonte: Wired (2022)

A *Synchron*, que a mídia documentada apresenta como principal concorrente da *Neuralink*, está desenvolvendo uma alternativa menos invasiva, um *stent* adaptado com 16 eletrodos, introduzido no córtex motor pela veia jugular, o que dispensa a craniotomia e reduz a resposta imunológica. Apesar da precisão limitada, o “*Stentrode*” viabiliza por imagética motora dois comandos, suficientes para habilitar o uso de computadores e smartphones, o clicar e rolar de páginas. A *Synchron* deve chegar primeiro ao mercado como solução para a síndrome do encarceramento (pessoa tetraplégica incapaz de falar) e doenças neurodegenerativas. A empresa começou os estudos com humanos em *Melbourne*, Austrália, mas mudou sua operação para *Nova Iorque*^(viii). O primeiro financiamento foi da *DARPA*, um órgão de defesa dos EUA, embora a orientação da empresa seja a clínica e usos assistivos, valorizando simplicidade e estabilidade, interessada – na superfície – em soluções para veteranos com sequelas físicas e neurais^(ix). Os primeiros implantes, em dois participantes com Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA), ocorreram em 2020 e permitiram que digitassem 20 caracteres por minuto e navegação da *web*^(x).



Imagem 14: Ilustração do Stentrode desenvolvido pela Synchron.
Fonte: Spectrum IEEE (2023)

Pesquisadores do *Imec* (Bélgica) e do *Howard Hughes Medical Institute* (EUA) avançam no sensor “*Neuropixel*”, sonda CMOS/MEMS revestida de nitrato de titânio poroso e biocompatível, com 10,240 eletrodos e que pode alcançar áreas mais profundas do cérebro; estudos com ratos foram publicados em 2021 e com humanos em 2022; mais de 650 laboratórios usam o dispositivo para pesquisa; os desenvolvedores acreditam o sensor ajudará na localização de regiões que causam tremores em pacientes com *Parkinson* ^(xi).



Imagem 15: Neuropixels 2.0.
Fonte: IEEE Spectrum (2022)

No *EPFL* (Suíça) está sendo desenvolvido um “robô flexível” implantável que se expande como uma “*flor sobre a superfície cortical*”, ampliando a área de registro sem grande incisão; os testes em porcos estão em curso por *spinoff* dos próprios pesquisadores, a *Neurosoft Bioelectronics*, financiada pela agência de inovação *Innosuisse* com cerca de 3 milhões de dólares. Os desenvolvedores pretendem, no futuro, que o dispositivo seja capaz de estimular o cérebro e monitorar pacientes epiléticos ^(xii) e que a técnica desenvolvida transforme a forma como as neurocirurgias são feitas atualmente ^(xiii).



Imagem 16: Eletrodo flexível (SOFT ECoG) desenvolvido pela EPFL.
Fonte: IEEE Spectrum (2023)

Fundada por ex-funcionários da *Neuralink* e *Synchron* em 2021, a *Precision Neuroscience* propõe a “*Layer 7*”, uma lamela flexível, modular e não penetrante, com cerca de mil eletrodos, tal como a *Neuralink*, da espessura de um fio de cabelo e implantável via micro incisão e, espera-se, removível sem reação inflamatória severa. Em 2023, através de uma parceria com a *West Virginia University* (EUA), conduziu um teste piloto com três pacientes que tiveram tumores removidos, aproveitando a circunstância de uma cirurgia necessária. O objetivo final da *Layer 7* é o controle de próteses^(xvi).

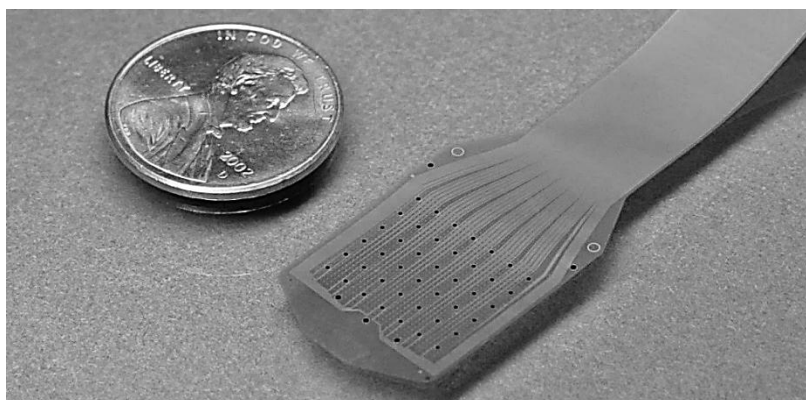


Imagem 17: Dispositivo “*Layer 7*” desenvolvida pela Precision Neuroscience ao lado de uma moeda.
Fonte: Precision Neuroscience (2024).

Os “*Neural Dust*” é um conceito investigado por várias universidades, ele consiste em nanossensores sem fio distribuídos pela superfície cerebral. A *Brown University* produziu um protótipo chamado de “*Neurograins*”, do tamanho de um grão de sal, implantados individualmente sobre o córtex, através de radiofrequência eles transmitem dados para um *hub* externo^(xv). Os *Neurograins* até o momento exigem craniotomia, mas o método em desenvolvimento envolve o uso de “agulhas finas”, para “polvilhar” o cérebro com sensores.

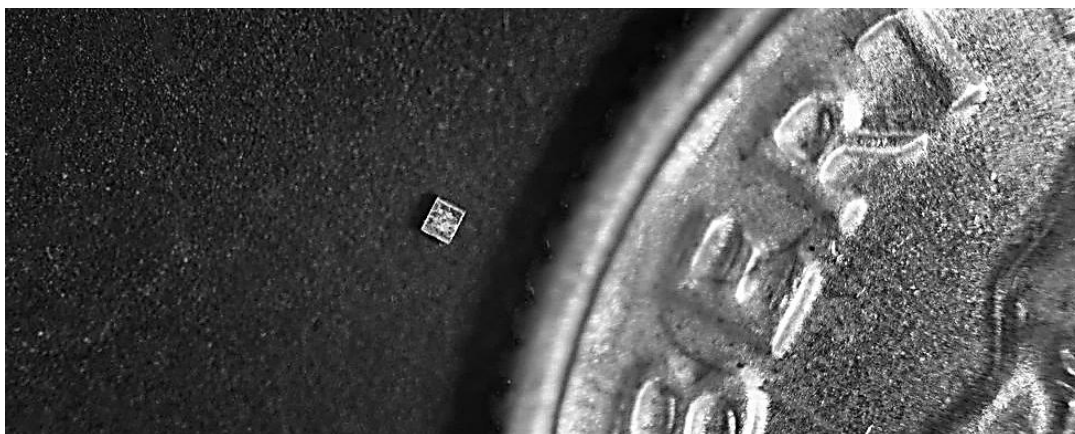


Imagem 18: Microchip neural “Neurograin” (Brown University) ao lado de uma moeda.

Fonte: Dentamaro/Brown University em IEEE Spectrum (2024).

Já as Interfaces não invasivas estão sub-representadas no corpus de análise, apesar de serem mais acessíveis e com barreiras de adoção menores. Há várias razões que ajudam a explicar o desinteresse: (i) a fidelidade do sinal é menor; o crânio é uma barreira física que dificulta o controle preciso, resultando em sinais ruidosos e epistemologicamente inferiores; (ii) a necessidade de dados num fluxo contínuo e em tempo real, para viabilizar um desempenho próximo ao natural (como a velocidade de digitação), que exige centenas de eletrodos miniaturizados; (iii) o fracasso da gigante *Facebook (Meta)* no desenvolvimento de uma Interface não invasiva para comunicação; (iv) a difusão de soluções baseadas em EEG com utilidade questionável, que parecem “brinquedos”. A expectativa nas revistas estudadas foi para a radicalidade de alguns implantes, principalmente o “*NI*”, mas há casos que consegue romper a hegemonia midiática dos implantes.

Em 2024, a *University of Texas Austin* combinou uma touca de EEG com um programa de *machine learning* que dispensa supervisão, permitindo autocalibração após poucos dias de uso, contudo a solução não tinha sido testada em pacientes com deficiências^(xvi). Relatos indicam que a organização de pesquisa da *Caltech Forest Neurotech* e a empresa *Butterfly Network* formaram uma aliança de codesenvolvimento de interface por ultrassom para registrar e estimular a atividade em regiões cerebrais profundas, investindo numa rota alternativa ao EEG, um esforço de pesquisa combinado de cerca de 20 milhões de dólares^(xvii).

7.2.2. Aplicações e o cenário atual de experimentação

7.2.2.1. Decodificação e assistência

Pesquisadores da *Stanford University*, São Francisco, relataram em 2021 uma pesquisa com um homem (65 anos, *Dennis DeGray*) paralisado desde 2007, que foi capaz de escrever 90

caracteres ou cerca de 18 palavras por minuto, depois de receber um implante invasivo com 100 eletrodos, utilizando imagética motora associada à escrita manual para estabelecer o controle^(xviii, xix). O sistema empregava uma *Utah Array* no córtex motor para decodificar sinais cerebrais profundos. Antes desse feito, a Interface de melhor desempenho permitia digitar 40 caracteres por minuto, cerca de 8 palavras; o salto foi possível pela incorporação de novo um algoritmo de *deep learning*^(xx). Três anos depois, em 2023, a mesma equipe atingiu a marca de 62 palavras por minuto, depois de 6 meses de treinamento de uma mulher paralisada (68 anos, *Pat Bennett*)^(xxi). Também em 2021, pesquisadores da *Brown University*, apoiados pelo consórcio *BrainGate Initiative*, relataram um experimento com três voluntários tetraplégicos que, através de implantes, conseguiram controlar o cursor de um computador, navegar por aplicativos e digitar cerca de 13 caracteres por minuto^(xxii).

Esses avanços no campo das Interfaces resultaram numa sensação de a evolução acelerada pela introdução das IAs^(xxiii). Já institucionalmente o salto é atribuído, em partes, a formação do consórcio *BrainGate* (2002) e os investimentos realizados por *Elon Musk* através de *Neuralink*, que atraíram outros investidores e grandes empresas. Para pacientes com deficiências isso significa, potencialmente, impulso para projetos que resultem em maior inclusão social. Contudo, o avanço das forças do mercado provocou reações mistas. Parte do campo é contra os usos comerciais, como a simbiose cognitiva com as IAs e usos militares, que poderia desembocar na frustração causadas por soluções milagrosas, aprofundamento das desigualdades, banalização de craniotomias e abusos contra a privacidade e integridade mental; outros acreditam que não há nada de errado com a extrapolação para além da clínica, que isso pode ajudar o desenvolvimento de tecnologias assistivas, pelo fortalecimento de uma base de pesquisa e desenvolvimento compartilhada^(xxiv). O fato, até o momento, é que o cenário das Interfaces Cérebro-Computador continua restrito aos experimentos e que, mesmo com os avanços, o cenário recente (2020-2024) não difere qualitativamente do que era reportado em meados de 2015^(xxv).

Depois de uma década de pesquisa, em 2021, também em São Francisco, Califórnia, uma equipe da *UCSF* através de implante cortical semi-invasivo, de tipo flexível, permitiu a um homem de 36 anos e paralisado há 16 anos digitar 15 palavras por minuto, com um taxa de erro em torno de 25%; a pesquisa foi financiada pelo *NIH* e usou a intenção de controle do trato vocal para estabelecer a Interface^(xxvi). No mesmo ano, cientistas de *Stanford* relataram que um dispositivo invasivo foi capaz de decodificar 62 palavras por minuto, superado a marca anterior de 18; equipe de *UCSF* relatou que através de um implante semi-invasivo alcançou a marca de

78, mas ainda longe da média de uma pessoa normal, de cerca de 160 palavras^(xxvii). Em 2022, equipe da Caltech relatou que um voluntário tetraplégico, depois de 15 minutos de treinamento, alcançou uma acurácia de 90% na decodificação de palavras, mas reconhecem que a tecnologia é incipiente; pesquisadores da *Universidade do Texas* relatam estar desenvolvendo uma alternativa não invasiva para comunicação, baseada em magnetoencefalografia^(xxviii).

Esses resultados do campo acadêmico, ainda que promissores, contrastam com as afirmações de simbiose com IA, que caracterizaram o lançamento da *Neuralink* e revelam uma tensão interna: ainda que exageradas, há uma equipe de neuroengenharia séria de trás do desenvolvimento, que tem trabalhado com este enfoque da comunidade científica, em soluções para pessoas com paralisia; em 2021 a *Neuralink* tinha intenção de superar o *record* da equipe de Stanford, mas nenhum resultado nesse sentido foi divulgado até o momento^(xxix).

Em síntese, a cobertura do campo ilustra uma curva ascendente de desempenho e diferentes abordagens, para um mesmo fim, em paralelo, convivendo no setor privado (das *startups*) com especulações de tipo comercial, como aplicações em jogos. O depoimento do primeiro voluntário da *Neuralink*, *Noland Arbaugh*, revela uma experiência intuitiva no controle habilitado pelo “*The Link* ou *NI*”, que contrasta com a necessidade de treinamento que outros experimentos exigiram no passado. Porém, a falta de publicações científicas levanta ceticismo da comunidade acadêmica se o implante foi (ou não) um sucesso, algumas autoridades da área relatam que o feito da *Neuralink* é uma melhoria incremental, mais sofisticada, contudo nada de revolucionário teria sido alcançado até o momento pela empresa^(xxx). A liderança tecnológica continua com as autoridades acadêmicas, principalmente os grupos de *Stanford* e *UCSF*, que parecem estar próximos de aplicações reais, como soluções médicas^(xxxi).

No tocante à abordagem não invasiva, pesquisas da *Universidade do Texas* (2023) demonstraram que modelos de IA (particularmente o GPT) treinados com fMRI reconstruíram significados com precisão entre 72% e 82%, o problema é que *scanners* são de uso hospitalar e caro demais para serem mobilizados em protocolos assistivos^(xxxii). A precisão relatada pela equipe do Texas é semelhante à da equipe da *UCSF*, que num dos experimentos (Ann Johnson, 47 anos, paraplégica desde 2005) alcançou a marca de 75%. A vantagem dos implantes, com um número elevado de eletrodos, é a cadência, nesse caso de 78 palavras por minuto, mais próximo da usabilidade que a vida cotidiana exige^(xxxiii).

Resultados desse tipo são consequentes para pessoas que já não possuem nenhum controle motor, incluindo o movimento dos olhos, que estão acamadas e dependendo de máquinas para

viver (síndrome do encarceramento). Embora a abordagem invasiva seja vista pela maioria dos neurocirurgiões como a última escolha e a comunicação seja relativamente lenta, ela traz qualidade de vida para os pacientes, como a possibilidade de demonstrar afeto para cuidadores e familiares^(xxxiv). Pacientes que participaram das pesquisas relataram felicidade associada à comunicação. Além dos implantes invasivos, há pesquisadores que exploram espectroscopia funcional no infravermelho próximo (fNIRS) para casos de encarceramento^(xxxv). Pesquisa recente (2024), de pesquisadores do *California Institute of Technology*, relataram a decodificação da “fala interna” em um voluntário, com acurácia de 79% e esperam que a tecnologia possa ser generalizada no futuro^(xxxvi). Outra consequência é a possibilidade da mudança de diagnóstico no caso de coma, estima-se que entre 15% e 20% de pacientes não responsivos podem estar conscientes. Abordagens não invasivas podem detectar sinais de consciência, mas exigem aperfeiçoamentos, principalmente o *EEG*, que é suscetível ao ruído elétrico do ambiente^(xxxvii).

Está claro que as ICCs revolucionam a comunicação assistida ao permitir que pessoas com paralisia severa ou síndrome do encarceramento se expressem ou quando revelaram consciência residual. Para os casos que não estão no limite do limite da medicina, como o coma ou o encarceramento, também há ganhos. Técnicas como ponte cérebro-medula, que exigem implantes, reabilitam movimentos em pacientes com lesões medulares e são promissoras. Em 2023, equipe da *EPFL*, do *NeuroRestore Research Center*, relataram a recuperação da capacidade de marcha de *Gert-Jan Oskam* através de uma ponte cérebro-medula^(xxxviii). Outro homem, Mark (62 anos), com Parkinson, participou de uma pesquisa do *Swiss Federal Institute of Technology* com a *Lausanne University* e recuperou a capacidade de marcha através de um implante na medula, mas não envolveu intervenção no cérebro^(xxxix). O uso de exoesqueletos e próteses robóticas têm sido investigado pelo potencial de restaurar o sistema nervoso e por propiciar mobilidade assistida^(xli). Pesquisadores da *EPFL*, do *Brain-Machine Interface Laboratory* relataram que estão combinando *EEG* com desenvolvimentos em robótica e algoritmos de *machine learning*^(xlii). Também há esforços no sentido de incorporar feedback tátil via estimulação do córtex somatossensorial para potencializar os efeitos reabilitadores dos avanços em robótica e prótese, viabilizando um controle motor mais fino e intuitivo, além de sensações próximas a de membros naturais^(xliii).

No universo das *startups*, em razão das possibilidades diversificadas de usos comerciais, especula-se como as Interfaces Cérebro-Computador podem ser combinadas com realidade virtual e aumentada, para o controle de avatares e uma experiência simulada, o chamado

“metaverso”^(xliii). Desenvolvimentos desse tipo, ao possibilitar uma sociabilidade enriquecida, provocam entusiasmo tanto em pessoas com graves paralisias como pessoas sem deficiências, interessadas em aplicações na indústria de jogos. Essas especulações se combinam com o desejo de combinar a mente humana com as IAs, criando um momento de inflexão no imaginário associado às Interfaces, que ganha um contorno comercial mais forte, atraindo capital de risco e resultando numa corrida tecnológica^(xliv).

Marcos tecnológicos, como o uso contínuo de implantes (*Utah Array*), por pioneiros como Nathan Copeland (36 anos), que há mais de sete anos faz uso deles, indicam que o campo está mais próximo da maturidade tecnológica, contudo também expõe suas limitações e como o desenvolvimento tem sido demorado^(xlv). Ao mesmo tempo, é um campo marcado pela emergência de novos conceitos, com o desenvolvimento de sensores com materiais avançados, que produzem novos híbridos, como neurônios artificiais, que desafiam a classificação usual de invasivos e não invasivos.

7.2.2.2. Novas Soluções

Na busca por soluções, grupos de pesquisa e startups exploram materiais biocompatíveis e robótica avançada. Grupos asiáticos têm proposto soluções criativas e muito distintas. Em 2022, Pesquisadores da *Nanjing Medical University* (China) e da *Nanyang Technological University* (Singapura) desenvolveram *nanoeletrodos* de grafeno/carbono capazes de detectar neurotransmissores como dopamina em ratos^(xlvi). Na *Tsinghua University* (China), diodos de silício monocristalino de filme fino geram campo elétrico quando iluminados por laser e se dissolvem gradualmente no tecido cerebral, reduzindo rejeição^(xlvii).

De volta aos Estados Unidos. Equipe da *University of California* anunciou o “NeuroSwarm3”: nanosensores banhados a ouro, do tamanho de partículas virais, capazes de atravessar a barreira hematoencefálica e retransmitir sinais ópticos^(xlviii). Uma equipe do *Georgia Institute of Technology* reimaginou as toucas de EEG, implementando um dispositivo flexível, miniaturizado, com microagulhas imperceptíveis e interconectores elásticos, que dispensa gel para condutividade dos sinais, combinadas com *deep learning* e realidade virtual.

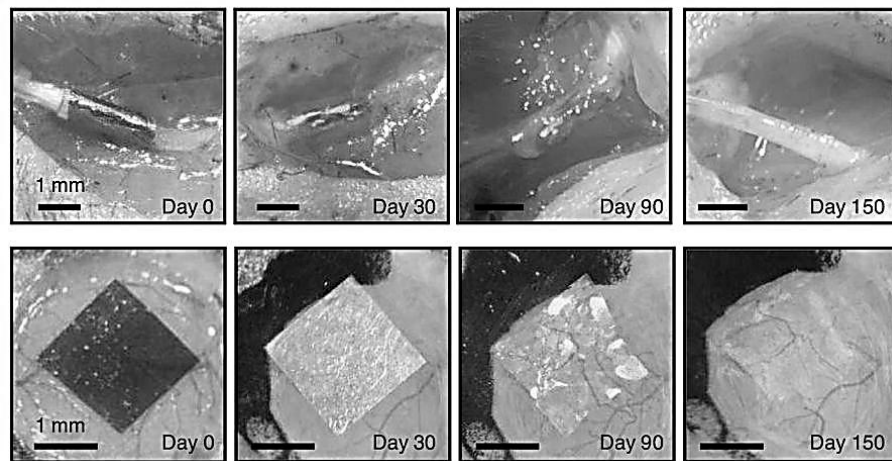


Imagem 19: Diodos bioabsorvíveis desenvolvidos na *Tsinghua University*.
Fonte: IEEE Spectrum (2022).

Quanto à organização sociotécnica, projetos *open-source* como PIEEG (placas a US\$ 250) e HackEEG (plataforma em Arduino Due) oferecem alternativas alinhadas a valores de acessibilidade e transparência⁽ⁱ⁾. Bases de dados colaborativas completam essa ecologia do conhecimento, por exemplo o TUH EEG Corpus e repositórios como PhysioNet/OpenNeuro, tornam o desenvolvimento mais assertivo e colaborativo.

Emergem ainda linhas de neurocomputação híbrida: organoides cerebrais e sistemas bioelétricos vivos-eletrônicos. Em 2024, uma equipe da Tianjin University e SUSTech (China) relatou o controle de um braço robótico via organoide-chip “MetaBOC”, desafios incluem manter organoides viáveis a longo prazo e enfrentar dilemas éticos⁽ⁱⁱ⁾.

7.2.2.3. *Neuroética*

As neurotecnologias, Interfaces incluídas, formam um mercado multibilionário avaliado em torno de US\$ 14-20 bilhões e apesar do protagonismo do desenvolvido de implantes, observado na cobertura jornalística do campo, são os dispositivos não invasivos que tracionam atualmente esse mercado. Apesar das Interfaces não invasivas implicarem riscos relativamente menores, elas já desafiam a esfera normativa, direitos como privacidade, liberdade, autodeterminação e ensejam todo um campo ético que se agrupa em torno da temática neural, dada a possibilidade de fazer inferências com os dados coletados para dizer algo sobre o que ocorre na mente de uma pessoa, que na mão de atores mal-intencionados pode resultar em danos para indivíduos e coletivos, como vigilância, discriminação e manipulação^(iii, lxix).

A articulação crescente das IA generativas, para decodificar os sinais neurais, também levantam preocupações que se somam ao quadro anterior, dado o poder crescente dos modelos

e a capacidade deles, em potencial, de olhar para dentro do cérebro, de “ler a mente das pessoas”, dos computadores do futuro com capacidades sobre-humanas, com impactos na identidade das pessoas. Por isso, acadêmicos têm defendido o reconhecimento de neurodireitos como um enquadramento mínimo para a criação do futuro neurotecnológico, com um governança dos dispositivos e dados que seja adequada^(liii, lv).

Em suma, a principal questão no horizonte ético gira em torno do controle. Num cenário de hibridização crescente, o controle está com quem? Com as máquinas ou com os usuários-desenvolvedores? O senso comum tende a ressaltar a exclusividade humana na atribuição dos significados, algo que as máquinas não parecem ameaçar agora, porém a hibridização pode produzir situações limite no futuro^(liv). A força bruta dos modelos de IA, com desempenho que parece se equiparar ou superar a humana, mesmo que dispensem uma interioridade inteligente e autêntica, combinadas a sofisticação crescente dos implantes e sensores, poderiam desestabilizar ou aumentar, de um ponto de vista ontológico, o que significa ser humano?

As ICCs colocam em primeiro plano direitos ligados à autodeterminação mental, reatualizando debates clássicos sobre privacidade e autonomia. Seu avanço depende da coleta massiva de dados neurais e do tratamento desses dados em infraestruturas digitais altamente concentradas, o que suscita temores de exploração indevida, como marketing persuasivo, monitoramento ou manipulação. Os legisladores do Chile acreditam que precauções são necessárias e incluíram no texto constitucional (art. 19 n.º 1) garantias de identidade pessoal, livre-arbítrio e acesso equitativo à tais tecnologias para ambos os cenários, seja de maximização das capacidades humanas ou para a proteção dos humanos^(lvi).

A integração entre neurotecnologias e IA adentra no território econômico como dado e potencialmente uma *commodity* e – dada as dinâmicas em curso de monetização – por isso sujeita a abusos. Legisladores do Estado de Colorado (EUA) aprovaram garantias de controle para os usuários (Lei HB 24-1058), reconhecendo que dados neurais são sensíveis e por isso sua coleta e compartilhamento exige consentimento explícito e que os usuários têm o direito ao esquecimento^(lvii).

Relatos indicam que a *Neuralink*, uma das principais startups de implantes, têm pressa para chegar ao consumidor final e que há, internamente, uma pressão por resultados rápidos e favoráveis, que deem suporte as afirmações de que o “*The Link*” será um ponte versátil de controle e reabilitação^(lviii). Denúncias de funcionários desencadearam investigações que colocaram sob escrutínio os experimentos envolvendo animais, dada a alta letalidade,

supostamente cerca de 1500 animais desde 2018^(lix, lxxvi), e provocaram reações de movimentos pelos direitos dos animais e de médicos, que levaram a frente às acusações de experimentos descuidados, que resultaram em infecções, paralisia e dor e necessidade de eutanásia; relatos de dor crônica e deterioração do estado de saúde de macacos circularam pela mídia especializada, provocando indignação e acusações de que a empresa estaria omitindo informações dos investidores, porém a *Neuralink* nega as acusações^(lx, lxi, lxii). Apesar das denúncias e da repercussão negativa, a *Neuralink* avançou para testes humanos em 2024, depois de aprovação da FDA em maio de 2023, mas com a reputação abalada – principalmente o objetivo de redefinir os limites da capacidade humana, de transferência de informação e simbiose com as IAs. Nada de revolucionário foi apresentado até o momento, pesquisadores e empresas concorrentes demonstraram resultados semelhantes ou melhores há anos, quando não décadas, na assistência e reabilitação de pessoas com paralisia grave^(lxiv, lxv, lxvi, lxvii, lxviii, lxix).

7.2.2.4. Geopolítica da disrupção

Se no universo privado é marcado por uma aceleração, em direção ao mercado consumidor, do lado dos Estados predominam considerações estratégicas sobre a possibilidade de melhoramentos. Superpoderes, como China e EUA, não escondem o interesse da possibilidade de modular o cérebro para benefícios tangíveis, com repercussões estratégicas na força de trabalho, educação de crianças e treinamento de militares; a diferença entre ambos é o nível de transparência em relação as iniciativas desse tipo, a China é mais explícita, os EUA tende a ocultá-las por de trás de iniciativas de uso dual^(lxx). Na China, estudos com EEG em fábricas e salas de aula monitoram fadiga e atenção, suscitando dúvidas sobre o papel do Estado quando o objetivo é otimizar desempenho cognitivo. Tanto *DARPA* (EUA) quanto programas militares chineses financiam ICCs para controle de drones, reforço de atenção e redução de estresse em cenários táticos. Esses usos bélicos deslocam o regime de valor para a superioridade militar, contrastando com agendas de inclusão e cuidado. Embora as duas maiores forças econômicas e militares da atualidade liderem esse tipo de desenvolvimento, outros países, como Austrália, estão desenvolvendo Interfaces para o controle de robôs por forças táticas, nesse caso um dispositivo EEG combinado com realidade virtual, aplicações também incluem monitoramento de fadiga e atenção^(lxxi).

Mas não são apenas os Estados, com seus interesses bélicos, que reconhecem nas neurotecnologias um instrumento para o exercício do poder, a oligarquia tecnológica, os bilionários do Vale do Silício, também especulam sobre como as Interfaces, combinadas a

outras tecnologias digitais como realidade virtual, poderiam ser uma forma de viabilizar uma experiência alternativa, no Metaverso, para escapar das dificuldades da vida real e enfraquecer pulsões de indignação, que poderiam desaguar em movimentos por mudança social, algo como uma Matrix. Nesse sentido, o imaginário associado combina elementos de um conflito latente entre classes, reformulado como uma oportunidade de negócio em meio a uma crise social^(lxxii, lxxiii).

7.2.2.5. *Ampliação cognitiva e metáforas de poder*

Ainda que expectativas acerca do metaverso, da leitura de mentes e do aperfeiçoamento cognitivo não sejam nada mais do que expectativas, ainda que os projetos da *Neuralink* e gigantes da tecnologia falhem miseravelmente, provando que objetivos dessa natureza são impossíveis ou exagerados, a especulação revela um componente importante do espírito do capitalismo na sua fase atual^(lxxiv, lxxv). Noland Arbaugh, primeiro voluntário da *Neuralink*, afirmou: “*It was like using ‘the force’ on the cursor and I could get it to move wherever I wanted*”^(xxx, lxiv, lxxvi). O conceito de força, importado do universo de *Star Wars*, ilustra como a ficção mistura imaginário cultural e realização técnica. Para um tetraplégico, controlar um braço robótico restaura autonomia e reintegra laços sociais; para um cirurgião, a possibilidade de manipular um membro adicional poderia elevar a precisão em procedimentos delicados; para forças armadas, representaria vantagem tática no comando de drones ou sistemas de armas; para o campo das artes, novos repertórios sensoriais e estéticos.

Em meio a um cenário de desigualdade crescente, de estagnação das perspectivas de ascensão social e enfraquecimento das malhas de proteção social, as metáforas ficcionais associadas ao “*Jedi-like*” explicitam uma tensão: aspira-se um controle equiparável ao mágico, uma extensão para além do humano, a potencialização da criatividade humana, incluindo manifestações artísticas, enquanto a legitimação do progresso tecnológico das Interfaces está atrelada às aplicações clínicas experimentais de assistência, que apesar de próximas, podem não ser acessíveis^(lxxvii, lxxviii, lxxix, lxxx).

O mapeamento apresentado revela um campo onde a promessa terapêutica, a especulação comercial e a disputa geopolítica coexistem sob tensão. A discussão que se segue organiza essas tensões em torno de quatro eixos: o estágio de emergência do campo, a coprodução de um imaginário ambivalente, a experiência encarnada dos pioneiros e as disputas que atravessam o desenvolvimento.

7.3. Discussão dos resultados – as Interfaces a partir do centro

7.3.1. *Um campo em estágio de emergência*

As Interfaces Cérebro-Computador (ICCs) estão num estágio de emergência e ainda não há um consenso estabilizado sobre o papel sociotécnico – as narrativas oscilam, ora um dispositivo médico de restauração, outra um gadget de consumo para aprimoramento, um upgrade da humanidade e no caso dos implantes um invasor, o qual os desenvolvedores se esforçam para torná-lo invisível e compatível. Essa estabilização atual é precária. Há controvérsias abertas na engenharia, a exemplo das falhas mecânicas e retração dos eletrodos e das obrigações éticas envolvidas nas experimentações.

As narrativas orbitam alguns temas, entre os quais se destacam:

- (i) o **corporal**, as Interfaces exigem alguma continuidade direta com a atividade cerebral; em algumas abordagens o contato direto, os implantes, precisam passar por uma transformação, se tornar biocompatíveis e assimiláveis pelo corpo como algo semelhante – aqui a estabilização geralmente falha, os implantes são percebidos como invasores, a reação do corpo é encapsulá-los, numa tentativa frustrada de rejeição que leva a inflamação crônica e contramedidas técnicas que compensam pela inteligência do software o que o hardware não sustenta;
- (ii) o **clínico**, as Interfaces possuem uma missão assistencial e de cuidado; para o sujeito que vive com graves restrições no controle motor, o corpo é uma barreira para a manifestação da autonomia – a estabilização exige que a liberdade seja conquistada por um trabalho conjunto de treinamento dos algoritmos de decodificação, uma coautoria entre sujeito e máquina, de modo a coproduzir o sentido pela correlação entre intenção e atividade neural, mas que depende de instituições para continuidade e garantias.
- (iii) o **mercadológico**, as Interfaces possuem um potencial de consumo que pode redefinir a relação com as tecnologias digitais; para a indústria é um modelo de negócios no qual a estabilização exige a formação de um padrão, de um conceito dominante, tal como smartphones consolidaram um padrão industrial reconhecível, com um ciclo de vida economicamente rentável, de usuários que pagam por atualizações e serviços – a estabilização falha porque há um coque de temporalidades, o capital pressupõe substituição, obsolescência, o corpo pressupõe incorporação, tornar-se parte irremovível.
- (iv) o **geopolítico**, as Interfaces possuem um potencial de poder que pode transformar a dimensão produtiva da sociabilidade, adentrando as esferas do trabalho, da educação e da guerra como um dispositivo que viabiliza um ganho de performance – a estabilização exige um consenso sobre a inevitabilidade, de continuidade com as regras do jogo, as condições de contorno dominantes (capitalistas, militaristas), de que se pode ficar para trás, de ser superado por um rival astuto (indivíduos e nações) que aceitou e soube mitigar os riscos existenciais, de dependência tecnológica radicalizada.

As tentativas normativas, como a inclusão dos "neurodireitos" na constituição chilena, surgem como reação a possibilidades distópicas que o controle sobre o cérebro poderia engendrar, tanto riscos não desejados – os colaterais de ter um dispositivo no cérebro – quanto

a instrumentalização mal-intencionada, na violação da privacidade e autonomia. Essas especulações estão amparadas em demonstrações reais que, ao reconhecerem a emergência das ICCs, criam o contexto de estabilização do desenvolvimento tecnológico, produzindo instituições que podem pleitear algumas vitórias contra a indeterminação do estado atual da arte, desenvolvendo com isso uma solução “viável” para o sistema (com requisitos mínimos de segurança e eficácia, necessárias para o aval Estatal e de lucratividade que torna a estabilização um negócio).

Esse estágio de emergência manifesta-se exemplarmente na disputa pelo design dominante. O *Utah Array*, implante perfurante desenvolvido há décadas, permanece como o "padrão-ouro" científico – mas é um padrão contestado, instável, referência e limite simultaneamente. O cenário atual assemelha-se a uma corrida exploratória, *uma incursão no espaço cerebral*, onde tecnologias são testadas sob critérios rigorosos: durabilidade de uma década, biocompatibilidade absoluta e precisão microscópica. Se no campo não invasivo o EEG e a fMRI já estão estabilizados, no território invasivo a tecnologia ainda caminha para a maturidade, principal eixo explorado pelas fontes consultadas e eixo de análise dessa subseção.

7.3.2. Os limites materiais: o cérebro como "gelatina"

Entre as Interfaces invasivas, persistem problemas de estabilidade, durabilidade e segurança, além de alto custo decorrente de pesquisa experimental, estudos em animais e humanos, infraestrutura hospitalar, salas limpas e certificações, às vezes robôs cirúrgicos sofisticados que podem custar uma centena de milhão de dólares. Historicamente, todos os estudos relatam, em algum grau – pois é natural da resposta do corpo –, a formação de inflamações, tecido cicatricial e degradação dos eletrodos, fatores que reduzem gradualmente a qualidade da captação de sinais.

Dispositivos de silício e metais condutores sofrem corrosão e a resposta imune encapsula os eletrodos a longo prazo. Fios presos ao implante exigem infraestrutura e cuidados recorrentes para evitar infecções; já a recarga por indução exige imobilidade e riscos envolvendo baterias implantadas. Em todos os casos, a adoção clínica pressupõe cirurgiões treinados ou robôs certificados – os últimos, mesmo precisos, exigem suporte e manutenção contínua, com supervisão humana. A logística envolta de uma incursão no tecido cerebral é complexa.

A realidade material impõe limites severos à hibridização prometida pelo imaginário de um controle em expansão. O cérebro não é um hardware, está longe de ser um ente estático, trata-

se de uma matéria mole e caótica. Inserir eletrodos rígidos nele é comparável a "montar uma pintura numa gelatina". A experimentação da *Neuralink* deixou claro o que a pesquisa acadêmica enfrenta há décadas: o movimento constante do cérebro dentro do crânio gera uma fricção que resulta na retração de eletrodos ou na formação de tecido cicatricial que isola o sinal, prejudicando a Interface, até que ela deixa de ser uma ponte funcional.

7.3.3. Rotas alternativas e reorientações

Diante desses limites, empresas e laboratórios buscam rotas alternativas. O envolvimento da Meta com o campo das Interfaces não invasivas é ilustrativo. Em 2017, a divisão de hardware *Building 8*, liderada pela ex-diretora da *DARPA*, *Regina Dugan*, iniciou um projeto ambicioso de comunicação humano-computador, baseado no desenvolvimento de um dispositivo não invasivo e vestível, capaz de detectar sinais do cérebro e decodificar a fala interna numa velocidade de 100 palavras por minuto.

A aposta dos desenvolvedores foi fNIRS (Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo), que usa lasers e sensores para medir mudanças de oxigenação, como uma aproximação da atividade neural, dentro de um desenho de *headset*. Em 2021, a *Meta* cancelou o desenvolvimento do protótipo alegando que a resposta sanguínea é lenta e que a dissipação dos fótons pelo crânio e tecidos degradava muito o sinal, reorientando sua estratégia para a leitura de sinais motores, particularmente por eletromiografia (EMG), através de uma startup adquirida em 2019, a *CTRL-Labs*, e apoio de pesquisas acadêmicas envolvendo implantes, particularmente na *UCSF*.

No horizonte especulativo dessa corrida, surgem conceitos como o *Neural Dust* e nanossensores injetáveis, que tentam dissolver a barreira entre o invasivo e o não invasivo, prometendo monitoramento detalhado sem cirurgias. A *Synchron*, apoiada pelo perfil mais silencioso de *Jeff Bezos* e *Bill Gates*, quando comparados à *Elon Musk*, avança mais rápido nos trâmites regulatórios por envolver riscos menores. Sua aposta no semi-invasivo (acesso endovascular, via veia jugular, o "*Stentrode*") sacrifica a resolução do sinal em prol da segurança e da escala. Enquanto a *Neuralink* perfura o crânio, a *Synchron* usa as "estradas" naturais do corpo, posicionando-se como uma alternativa para uma população maior, longe da complexidade de uma craniotomia.

A disputa pelo design dominante atravessa o próprio campo, materializando-se em dissidências internas. *Benjamin Rapoport*, neurocirurgião e cofundador da *Neuralink* em 2016,

rompeu com a empresa por divergências sobre segurança do paciente e ética da invasividade, fundando em 2021 a *Precision Neuroscience*. A filosofia de design da nova empresa inverte a aposta de *Musk*: opera na superfície do córtex sem violar a barreira pia-máter, priorizando reversibilidade sobre resolução. O contraste é explícito a *Precision* adota uma abordagem que a mídia especializada descreve como "*metódica e clínica*". Rapoport articula sua posição invocando o princípio hipocrático de “não fazer mal”. A coprodução, aqui, revela que a hierarquia de valores é objeto de uma disputa interna que fragmenta o campo e gera alternativas institucionais.

7.3.4. *A rota não invasiva: acessibilidade como valor alternativo*

A coprodução, no caso das interfaces não invasivas, manifesta-se na tentativa de alinhar a tecnologia aos contextos mais cotidianos, diversificando as identidades de usuário – pode ser paciente, trabalhador, estudante, gamer ou entusiasta. Nesse regime, os valores da segurança e acessibilidade criam um arranjo alternativo poderoso, que sacrifica de alguma forma a precisão – que materialmente exige uma atuação profunda e invasiva – e que reposiciona o tema da relevância ao deslocar o controle para o alcance social. Porém, as pesquisas não invasivas enfrentam o desafio da baixa resolução. Embora seguros, dispositivos como toucas EEG avançadas captam sinais ruidosos, comparados a "ouvir um jogo de fora do estádio". A integração de fMRI com IA tenta reconstruir pensamentos de forma não cirúrgica, mas ainda depende de equipamentos volumosos, limitando sua aplicação cotidiana e real.

Cada protótipo bem-sucedido desloca o regime de valor: do ideal de máxima resolução para a máxima biocompatibilidade ou acessibilidade. Assim, o polo dos valores cognitivos (fecundidade técnica) é reequilibrado pelo polo dos valores sociais (aceitabilidade de risco), mostrando como a coprodução, inerente à ordem social e científica, redefine continuamente o que conta como desenvolvimento. Em outras palavras, há uma tensão latente entre controle tecnológico e autonomia: quanto mais precisas as ICCs, maior o potencial emancipatório, mas também mais aguda será a ameaça de vigilância. Essa tensão manifesta-se de forma particularmente intensa na coprodução entre sujeito, algoritmo e dados.

7.3.5. *A coprodução de um imaginário ambivalente*

Ao exigir big data neural, as ICCs migram para infraestruturas digitais de grandes provedores, criando centros de gravidade institucional. Nesse regime, "melhor IA" se liga à ideia de "melhor Interface" – transcende a miniaturização do hardware e sua

biocompatibilidade. Ao mesmo tempo, o salto de acurácia na decodificação viabilizado pelas IAs expande os riscos de dependência e vigilância. A dialética entre fecundidade e significância torna-se mais tensa a cada ganho técnico, o que reforça a relevância social da tecnologia, porém aprofunda assimetrias de controle a longo prazo. Essa coprodução reconfigura a infraestrutura técnica e produz seu público-alvo em diferentes horizontes, que não se limitam à clínica. A classe média educada que se auto-otimiza é um público que poderia impulsionar as vendas e lucratividade, materializando a convergência cérebro-algoritmos-dados numa ética somática radical, num arquétipo e discurso de aperfeiçoamento humano.

A narrativa promissória de controle, na qual os algoritmos são o elo entre intencionalidade e contexto de uso, em tese poderia habilitar a "otimização" da concentração e formação de competências, uma perspectiva que interessa empresas, governos e indivíduos pelos efeitos na produtividade. Quando o ponto de convergência é esse efeito, há uma fusão de métricas de performance computacional (latência, throughput) com métricas de capacidade (atenção, velocidade, sucesso), ampliando a legitimidade das Interfaces para contextos de afluência social. Também há contextos recreativos que poderiam impulsionar o mercado, nos quais as Interfaces podem ser combinadas a outras tecnologias, como Realidade Virtual (RV), em experiências imersivas em jogos. Contudo, os requisitos técnicos são igualmente elevados – a destreza com os periféricos de jogadores assíduos está distante de ser alcançada pelas Interfaces e não há nada que indique uma substituição nas próximas duas décadas.

7.3.5.1. *O que a Interface realmente faz*

A realidade contrasta com as metáforas que sustentam a fantasia de telepatia e simbiose com as IAs. A tecnologia atual não "lê pensamentos"; contudo, em alguns contextos como o da intenção motora, prevê o comportamento mais provável com base nos padrões estatísticos da atividade neural. Os sinais são ruidosos e a decodificação da vontade subjacente, via correlação, é intensiva em computação, exigindo soluções criativas em hardware para filtrá-los. A limpeza dos sinais por IA introduz uma camada de interpretação que possui implicações tal como os sistemas determinísticos, feitos por humanos, que são existenciais (a intencionalidade que não foi traduzida ou confundida), materiais (má adaptação do cérebro e sistema acoplado), institucionais (crise de credibilidade, "quem se responsabiliza pelo erro?").

O imaginário terapêutico associado às Interfaces está alicerçado na Academia e no contexto estadunidense nas universidades de elite da Califórnia, particularmente *Stanford* e *UCSF*. Aqui, o foco reside na restauração da dignidade via comunicação e mobilidade para pacientes com

paralisia, ELA e síndrome do encarceramento. A evolução técnica seguiu uma trajetória que começa no controle de cursores, passa para aplicações motoras, como braços robóticos e mais recentemente desemboca na semântica, fala e avatares digitais. Os resultados mais expressivos encontram-se na vertente invasiva e historicamente ligada ao *Utah Array*, na qual pesquisadores quebraram recordes de velocidade na decodificação. A IA generativa entra aqui para reconstruir a intenção, permitindo que pacientes "falem" com fluidez inédita e com desempenho recorde, restaurando – mesmo que de forma precária – a unidade do self ao possibilitar que uma pessoa com deficiência grave expresse suas vontades, exerça alguma autonomia e demonstre afeto, rompendo com o isolamento social imposto pela deficiência.

De um ponto de vista prático, a IA acelera as rotinas de experimentação – cada cérebro possui um padrão de ativação único, apesar de algumas áreas serem conhecidas pela especialização de funções – viabilizando a assistência médica no ambiente doméstico, onde faz a diferença para os pacientes e cuidadores. As Interfaces são conhecidas pelo trabalho exigido dos voluntários-pioneiros na calibração desses sistemas, o que frequentemente é cansativo. Os algoritmos precisam ser treinados pelos usuários até que a IA seja capaz de correlacionar com sucesso a intenção subjacente com o disparo neuronal, o que pode levar dezenas ou centenas de horas de trabalho. Essa condição de coautoria revela a dimensão subjetiva dos pioneiros. Os casos de *Noland Arbaugh*, primeiro voluntário humano da *Neuralink* e de *Nathan Copeland*, usuário de longa data do *Utah Array* na *Universidade de Pittsburgh*, ilustram simultaneamente a fragilidade técnica e a experiência de empoderamento – uma dubiedade encarnada nos sujeitos.

No centro, onde capitalismo e militarismo se misturam e se confundem, com o Vale do Silício na posição de arquétipo, predomina a cultura do "*move fast and break things*" que caracteriza a vocação disruptiva da inovação na nossa era. Essa lógica, quando aplicada à inovação em saúde, colide com a corporalidade, que resiste aos implantes e desafia as técnicas de decodificação, resultando numa dimensão fenomenológica inédita.

7.3.6. A experiência dos pioneiros-voluntários

Elon Musk, CEO da *Neuralink*, aposta em uma abordagem invasiva para obter de forma rápida dados mais precisos, uma solução de banda larga neural que viabilizaria um tipo novo de interação humano-computador. Nela o cérebro incorporaria como uma extensão de si a capacidade de modular a comunicação digital, particularmente com uma IA de uso específico e altamente personalizada, capaz de correlacionar (e quase entender, na prática) a

intencionalidade com a atividade neural e com segurança prever os efeitos dela em contextos práticos – seja controlar um software de computador ou pegar um copo d'água com um braço robótico – resultando numa experiência que é percebida e sentida como intuitiva e natural.

7.3.6.1. Noland Arbaugh e a dubiedade do imaginário Neuralink

Na atualidade, a *Neuralink* sustenta sua credibilidade num sucesso midiático alavancado pelo protagonismo de *Musk* e pela imagem futurista do robô cirúrgico. Porém, a narrativa de sucesso enfrentou a realidade gelatinosa do cérebro, produzindo um resultado misto. De um lado, *Noland Arbaugh*, primeiro voluntário, relatou que foi como "*usar a força*" (referência a *Star Wars*), ao se concentrar a ação pretendida ocorria, reduzindo a distância entre intenção e execução, o que sugere que a Interface foi em parte assimilada pelo cérebro e percebida pelo sujeito como uma capacidade recuperada. De outro, o caso revelou a biologia hostil, com a retração dos fios do implante em consequência de uma falha em engenharia dos desenvolvedores em calcular a movimentação do cérebro e dos eletrodos. A resposta da empresa foi uma otimização do software para reparar a funcionalidade perdida na retração; Noland continua a usar a Interface até hoje, chamando-a de "*Eve*", em referência à figura feminina do mito cristão da criação e queda.

A coprodução no caso de Noland revela a combinação de teologia conservadora – *Eva* é representada como ajudante de *Adão*, responsáveis por terem amaldiçoado a humanidade – e entusiasmo tecnológico, estabilizando a sua identidade na figura de um "*ciborgue cristão*". Noland recusa o reducionismo da consciência a um fenômeno corporal e vê a tecnologia, as Interfaces, como um meio de evangelização, ressignificando o acidente que o deixou tetraplégico.

7.3.6.2. Nathan Copeland e a estabilidade acadêmica

O caso de Nathan Copeland, usuário do *Utah Array* na *Universidade de Pittsburgh* desde 2016, oferece um contraponto revelador. Enquanto *Noland* opera sob a lógica acelerada de uma *startup*, Copeland está inserido num ecossistema acadêmico de longo prazo, o *Rehab Neural Engineering Labs*. Sua Interface é bidirecional: envia comandos motores, mas recebe feedback sensorial via microestimulação do córtex somatossensorial. Quando cumprimentou o Presidente Obama em 2016 usando um braço robótico, Copeland relata ter sentido o contato, a sensação gerada pela estimulação cortical, não perfeitamente natural, mas confiável – "*possivelmente natural*" ou "*pressão*" e no contexto do encontro com Obama, um "*milagre*

médico". A natureza bidirecional do implante cria um sistema de malha fechada que aumenta significativamente a sensação de incorporação. A tecnologia aproximar-se de um órgão sentido.

A longevidade de *Copeland* com o implante – mais de oito anos de uso contínuo – contrasta com a instabilidade dos primeiros meses de *Arbaugh*. O que explica essa diferença? Em parte, a maturidade do *Utah Array*, testado há décadas, por milhares de cientistas; em parte, o ritmo institucional da Academia, que não opera sob a pressão de demonstrações midiáticas e rodadas de investimento como uma *startup* disruptiva. *Copeland* usou sua Interface para jogar *Final Fantasy XIV* por horas, exercendo agência em mundos digitais onde a paralisia física é irrelevante. A BCI tornou-se transparente, um membro que se habita.

7.3.6.3. Rita Leggett e o trauma da explantação

Se os atuais smartphones, quando perdidos, já resultam nos usuários o sentimento de perda de si – não só material, mas de algo profundamente íntimo, como um luto – imaginemos a extensão do impacto de uma Interface explantada, removida do sujeito. Isso já ocorreu. *Rita Leggett*, australiana diagnosticada desde os 3 anos de idade com epilepsia severa, foi recrutada em 2010, já com 49 anos, para um ensaio clínico da empresa *NeuroVista* e recebeu um implante que, para ela, funcionou muito bem na detecção do começo das crises, orientando que *Rita* tomasse os medicamentos, eliminando as convulsões. Contudo, em 2013, a empresa faliu – os resultados do ensaio foram mistos e o implante era muito caro – e os voluntários tiveram que ter os implantes explantados já que não haveria mais suporte. Com a remoção forçada, *Rita* relatou um luto profundo, como se tivesse perdido parte de si: "*Eu estou faltando e ele [o dispositivo] está faltando... Era uma parte de mim*".

Nesse caso, a Interface era um substrato da identidade de *Rita*, não apenas um instrumento – uma propriedade proprietária da *NeuroVista*. O caso de *Rita* ilustra o fenômeno da simbiose, o fato dela gerar algo que é incorporado ao sujeito: "*Foi como tirar aquela parte de mim mesma que me fazia completa... Desligar finalmente o meu dispositivo foi o início de um período de luto para mim... Chorei, chorei muito*". O testemunho de *Rita* sugere que ela formou uma identidade híbrida. A sua remoção foi uma violação da sua nova integridade corporal.

A reversibilidade técnica, com a possibilidade de explantar o dispositivo, não garante a reversibilidade existencial. Uma vez que o cérebro se adapta à presença de uma Interface, sua remoção é, tecnicamente, uma indução de deficiência adquirida. O sujeito que viveu anos com a capacidade restaurada não retorna ao estado anterior; experimenta uma segunda perda, agora

mediada pela memória do que foi possível. A ética somática, nesse registro, revela o avesso, a otimização que integra tecnologia ao corpo produz uma dependência que a remoção não desfaz, apenas desloca para o campo do luto.

7.3.6.4. *Caso Second Sight e os pioneiros desamparados*

A *Second Sight Medical Products*, fabricante do implante *retinal Argus II*, abandonou mais de 350 usuários quando cessou operações em 2019 para redirecionar recursos a um novo produto. *Barbara Campbell*, uma das usuárias, relatou que seu dispositivo "morreu" enquanto trocava de trem no metrô, a visão artificial desapareceu instantaneamente, deixando-a em situação de vulnerabilidade extrema. Outro usuário, *Terry Byland*, passou a viver em estado de "vigilância ansiosa constante", sabendo que qualquer fio quebrado ou falha de software representaria o fim definitivo de sua visão artificial, sem qualquer assistência da empresa. O padrão que emerge é o de uma agência dependente da solvência de uma corporação. O problema está inscrito no modelo de negócios das startups de neurotecnologia, onde a temporalidade do corpo (décadas de uso) colide com a temporalidade do capital (ciclos de investimento, pivôs estratégicos, falências).

7.3.7. *Um campo em disputa*

Quando a estabilização de uma Interface ocorre, ela resulta numa dependência profunda da solução proprietária. O risco transcende a falha do dispositivo, passa pela obsolescência do suporte e termina num usuário biologicamente e juridicamente vulnerável. Apesar de se tratar de casos pontuais – um grupo pequeno de pioneiros, provavelmente uma centena de pessoas implantadas –, a questão do suporte a longo prazo é fundamental, pois a Interface passa a fazer parte de "algo" que se mistura ao self (*Rita*) ou torna-se uma extensão dele (*Noland, Copeland*), viabilizando a reconstrução da identidade da pessoa pela manifestação da autonomia.

A ambiguidade é constituinte das experimentações com Interfaces. Aplicações clínicas, principalmente quando a pessoa não possui qualquer controle motor há muito tempo, exigem um acesso cirúrgico ao cérebro e estão sujeitas a desencadear respostas imunológicas e inflamatórias do corpo que ameaçam a sustentabilidade dos implantes no longo prazo. A ambiguidade reside no fato de que o risco, ainda que real, é eclipsado por uma situação de esgotamento das opções, de isolamento da pessoa afetada e desespero. Quando a vulnerabilidade é extrema, a abordagem invasiva se torna um refúgio, deslocando as considerações dos riscos inerentes para as garantias de segurança no curto e médio prazo. Essa

tensão entre vulnerabilidade extrema e promessa de restauração alimenta os imaginários que disputam o sentido das ICCs. É precisamente a convergência entre precisão técnica e autonomia que permite o deslizamento da narrativa de reparação para a de aprimoramento – este aparato técnico serve a ambos os propósitos.

7.3.7.1. Da inclusão à distinção

Do ponto de vista coletivo, otimizar a atenção de pessoas com TDAH ou restaurar mobilidade a tetraplégicos atenua desvantagens criadas por ambientes que segregam e desresponsabilizam as instituições públicas da promoção da equidade. Enquadra-se aqui a narrativa de reparação que liga tecnologia à inclusão. No outro polo, a ampliação assume contornos de excelência exclusiva, um "doping cognitivo" buscado por indivíduos saudáveis que desejam ultrapassar limites naturais, que beneficiariam a sociedade justamente por serem mais produtivos. A ideologia tecnoufanista, popular entre líderes da *Big Tech*, sugere um upgrade para a espécie humana. Nesse registro, o usuário deixa de ser paciente para tornar-se consumidor "premium".

Os marcos de pesquisa envolvendo implantes e IA delineiam a convergência entre o valor cognitivo da precisão e o valor social da autonomia, equilibrando a pulsão de controle hegemônica, característica da tecnociência e sua interpelação com as dinâmicas de poder. O imaginário associado de restauração de uma interação fluida entre uma pessoa com paralisia e um computador, viabilizando uma comunicação próxima da natural, que seja precisa e confiável, tornou-se um território comum, inclusive para empresas que possuem como visão de futuro o aprimoramento (*Neuralink, Blackrock*). O imaginário traduz o controle em autonomia, que por sua vez provoca entusiasmo com um futuro inclusivo, legitima grandes projetos de pesquisa e gera um reforço mútuo entre valores sociais e cognitivos nos centros de desenvolvimento.

Entretanto, há um deslocamento do regime de valor que se materializa nas inovações técnicas. Se o implante for biocompatível – com riscos análogos aos de um medicamento controlado – a barreira de aceitação será menor, mais pessoas podem cogitar algum tipo de ganho "*off label*", mais próximo da otimização e performance do que do tratamento de uma condição. Aqui, a coprodução opera de forma ambivalente, desliza para o aprimoramento primeiro como um efeito não pretendido ou não explícito da narrativa de reparação, pela via da indução – se tal controle é possível, por que não alunos melhores, trabalhadores melhores, soldados melhores? Ambas as versões do imaginário sociotécnico materializam dilemas éticos

sobre privacidade e impacto da digitalização da vida, às vezes como preocupação e alarmismo, por outras como curiosidade e aceitação – o desenvolvimento implica riscos inerentes. Forma-se um mosaico: a polaridade entre distinção (via aprimoramento) e inclusão (via autonomia) existe, contudo entre os tipos ideais reina a ambiguidade. logicamente são distintas, mas socialmente são inseparáveis.

7.3.7.2. A questão da acessibilidade

Os relatos de escrita e controle de próteses exemplificam como a fecundidade técnica converge com significância social, recuperando a autonomia. Neles, a coprodução opera da seguinte forma: os valores de inclusão legitimam investimento e os resultados técnicos redefinem padrões de cuidada adequado. Contudo, a forma pura também tem dobras internas, seus próprios paradoxos. As histórias de sucesso, dos voluntários pioneiros, eclipsam os debates sobre custo e distribuição, evidenciando a seletividade das promessas feitas pelas forças do mercado.

Segundo relatório "*Brain Computer Interface Primer: The Next Big MedTech Opportunity?*" da *Morgan Stanley* (2024), um implante invasivo completo, com cirurgia, hardware e acompanhamento clínico, custa de US\$ 25.000 a US\$ 60.000. Num primeiro momento, isso limita o uso a seguradoras privadas, programas públicos especiais ou doações filantrópicas. A expectativa de popularização só faz sentido olhando para um segundo ciclo, entre 10 e 15 anos, quando três fatores podem convergir: (i) produção em maior escala reduzindo o preço do aparelho para menos de US\$ 5.000; (ii) venda por assinatura mensal, que dilui o valor do equipamento e inclui manutenção; (iii) inclusão em tabelas de reembolso do sistema de saúde, após comprovação de que o benefício compensa o gasto. Até lá, a adoção em massa poderá vir dos dispositivos não invasivos de EEG, já disponíveis por menos de US\$ 500 e integrados com soluções de IA – mas que sofrem do estigma de serem mais "brinquedos" do que soluções sérias.

Essa seletividade – vitrines de casos individuais versus acesso sistêmico – reflete o padrão promissório típico da tecnociência, de um futuro vindouro de maior controle. Olhando para o mercado, os altos custos tendem a favorecer grupos privilegiados, potencializando a exclusão digital. Projetos open-source oferecem um contrapeso, ao reduzir barreiras de entrada e fomentar pesquisa aberta nas universidades. O consórcio sem fins lucrativos BrainGate nos EUA demonstra que modelos colaborativos podem levar ICCs a hospitais públicos, ainda que lhe tenha faltado a capacidade de escala.

7.3.7.3. *Disputas legais e geopolíticas*

O avanço dessas tecnologias projeta uma sombra no universo da ética. A controvérsia do bem-estar animal ganhou mais atenção com o escândalo das mortes de macacos na *Neuralink* e a defesa questionável de que eram animais "terminais". Na esfera humana, o imaginário sociotécnico colide com a vulnerabilidade do paciente-voluntário-pioneiro. O conceito de neurodireitos emerge, liderado por figuras como *Rafael Yuste* (neurologista da *Columbia University*, um dos idealizadores do *BRAIN Initiative*) e materializado nos movimentos legislativos pioneiros do Chile. O argumento central é a urgência associada à capacidade de ler e controlar o cérebro que se avizinharia, exigindo regulação antes que a tecnologia seja viável economicamente. A tensão principal opõe a privacidade mental à mercantilização dos dados neurais. Ativistas apontam que as normas precisam equilibrar o critério de "avanço" no número de canais de um implante com as salvaguardas legais. No entanto, a exploração comercial da cognição encontra barreiras na implementação industrial. A variabilidade dos corpos e a necessidade de supervisão pública indicam algum grau de responsabilização, apesar da lógica de "velocidade e controle" do Vale do Silício tensionar os freios.

Por fim, o imaginário é atravessado por uma competição entre países. Existe uma corrida silenciosa entre EUA e China pelo uso produtivo das ICCs (militar, educacional e laboral). Ideologicamente, há um mascaramento: as iniciativas americanas são frequentemente enquadradas como "respostas" defensivas às chinesas, quando, na verdade, muitas vezes são anteriores e ofensivas na busca por hegemonia tecnológica através da *DARPA*. De uma perspectiva geopolítica e de classe, há uma sobreposição crucial entre o tipo de abordagem (invasiva vs. minimamente-invasiva) e o grau de impacto projetado.

7.3.7.4. *A dependência como estrutura e horizonte*

A possibilidade de sucesso comercial das Interfaces teria as implicações já esperadas de uma inovação de fronteira: uma periferia que consome a tecnologia como "caixa preta", sem controle sobre os dados ou sobre o conhecimento subjacente. Materializa-se um ciclo de dependência onde a ponte entre o self (intencionalidade) e o mundo é mediada por uma capacidade concentrada em poucos atores. A cura é um horizonte possível, mas a transformação da intimidade em ativo financeiro é o modelo de negócio subjacente. A relação entre intencionalidade e cérebro passa a operar num regime que exige transparência. Isso inaugura o risco da "neuro-vigilância": a possibilidade de decodificar não apenas comandos motores, mas "fala interna" e estados emocionais para manipulação. O desafio é sociotécnico: como

estabilizar essa tecnologia sem que a vulnerabilidade da privacidade se torne o preço fixo para a restauração da dignidade humana?

Há uma nobreza associada que projeta o campo, mas também um desejo de que o conhecimento de base possa servir para algo mais, em aplicações que modulam ou amplificam padrões fortemente correlacionados com cognição complexa – para aprender mais rápido e melhor, manter a concentração, administrar o estresse e outras práticas que combinam cuidado de si com otimização, do corpo como capital e da intervenção tecnológica como construção da nação. Mas, embora o desejo seja o de uma fusão que libere as pulsões individuais e sociais, a materialidade impõe limites severos à hibridização, ela é precária e encapsulada pela biologia e pelo arranjo sociotécnico.

As cirurgias implicam algum tipo de risco e a necessidade de uma craniotomia colide com a realidade individual, uma avaliação caso a caso sobre alternativas. A especulação sobre implantes, mesmo que minimamente invasivos, como produtos de consumo em massa, implica que o problema do erro teria uma escala industrial, o que também exige – ou deveria exigir – a especulação de contramedidas. Entre a promessa de restauração e a ameaça de vigilância, entre a autonomia recuperada e a dependência aprofundada, as Interfaces estão num curso cujo desfecho decorrerá das escolhas com impacto sistêmico. A questão do acesso e potencialmente da desigualdade social, se somarão a tantos outros fatores que pressionarão a sustentabilidade dos sistemas de saúde, das economias nacionais e familiares, reativando a dinâmica usual de acumulação sob o capitalismo. O maravilhamento tecnológico exige que se pague o prêmio ao desenvolvedor, que por sua vez quer a consolidação de mercado, a posição de fornecedor de uma solução e não razão que sustente a ideia de que com as ICCs será diferente.

7.4. Considerações Finais

A análise do corpus jornalístico revela um imaginário sociotécnico oscilante, fractal e instável. Ora as narrativas evocam a restauração da autonomia, demonstrada há décadas de maneira experimental por estudos acadêmicos; ora evocam o sonho da extensão, de um desempenho cognitivo superior. No tocante à materialidade, a dinâmica entre os valores da precisão e da acessibilidade/ inclusão produz um cenário de equilíbrio variável, que se manifesta no grau de invasividade dos implantes, na decisão de “ouvir de fora” (através de um headset), no desenvolvimento de IA. No tocante à fenomenologia, os voluntários humanos são representados como pioneiros, coautores, sem os quais o processo de estabilização das ICCs

sequer é possível, embora também sejam os mais vulneráveis— caso a tecnologia e seus desenvolvedores falhem no caminho. Cada ângulo do problema revela um tipo de bifurcação, evidenciando que o exercício sociológico exige atenção para a relação constituinte entre ordem e complexidade. Os ganhos técnicos – um novo recorde de decodificação, um implante quase invisível, um algoritmo capaz de reconstruir a intencionalidade do sujeito – materializam a tensão não resolvida, o trabalho feito para colocar sobre ela limites a complexidade, tornando-a mais previsível e os benefícios e riscos decorrentes governáveis.

A fecundidade técnica coproduz significância social ao restituir comunicação e mobilidade a pessoas com paralisia severa. Mas essa mesma fecundidade, quando deslocada do contexto clínico para o horizonte de aprimoramento, reconfigura o regime de valor. O que era inclusão converte-se em distinção, o que era cuidado converte-se em vantagem competitiva. A análise mostrou que essa conversão está inscrita na lógica de mercado, nos programas militares de uso dual, na especulação sobre '*doping*' e na disputa entre o modelo disruptivo do Vale do Silício e as cautelas da tradição acadêmica – que mostra sinais de fraqueza, vide a virada da *Blackrock Neurotech* de fornecedora de instrumentos para pesquisa (*Utah Array*) para aprimoramento (*Neuralace*). A coprodução opera como mecanismo de legitimação cruzada, onde os valores de inclusão atraem financiamento e aceitação social, os resultados técnicos parecem alimentar os imaginários de aprimoramento e transcendência.

Os centros hegemônicos (Vale do Silício, universidades de elite californianas, programas de defesa como a *DARPA*, grandes universidades europeias e mais recentemente chinesas) definem os parâmetros de invasividade como superioridade, concentram as bases de dados neurais e produzem os imaginários que circulam globalmente como horizonte de futuro para o campo. Contextos periféricos recebem essas narrativas dissociadas das condições materiais de produção, gerando uma recepção ambivalente entre entusiasmo e ceticismo. O sucesso comercial das Interfaces, caso se materialize, reproduziria a estrutura de dependência já conhecida, de uma periferia que consome a tecnologia como “*caixa preta*”, sem controle sobre os dados neurais ou sobre o conhecimento subjacente. A ponte entre o *self* e o mundo seria mediada por uma capacidade concentrada em poucos atores e a transformação da intimidade neural em ativo para o modelo de negócio ou decisão estratégica (como no uso militar).

A mobilização do idioma da coprodução para narrar os imaginários sociotécnicos permitiu evitar tanto o determinismo da ideia de que os implantes 'inevitavelmente' transformarão a humanidade, quanto o reducionismo de que são 'apenas' poder materializado. O que a análise

revelou é mais produtivo: *as Interfaces estão num estágio em que cada escolha de design é simultaneamente uma escolha ética, cada protótipo bem-sucedido desloca o regime de valor e cada experiência encarnada coproduz identidades que excedem as categorias disponíveis, nem paciente, nem consumidor, nem ciborgue, mas algo que desafia a classificação e está indeterminado.* A materialidade impõe limites severos à hibridização prometida pelo imaginário, mas é precisamente na fricção entre promessa e resistência que se constituem os objetos técnicos e as formas de vida social que os habitam. O desfecho é incerto, embora o trabalho para estabilizar algumas dessas visões de futuro seja inegável.

Sob a ótica desenvolvida nessa tese, da dialética entre valores sociais e cognitivos, os resultados mostram que o “centro”, os EUA na maioria dos casos estudados, é marcado por uma precariedade. Sim, as universidades estadunidenses reportam feitos técnicos extraordinários, possui um ecossistema de *startups* que juntas formam uma vitrine para o capital de risco, mesmo estando limitados a alguns poucos voluntários-pioneiros, na casa das dezenas. O que é ocorre no “centro” é uma ressignificação dessa precariedade como uma etapa constituinte da estabilização da tecnociência ou da inovação disruptiva ou de fronteira. Os investimentos privados, a reputação acadêmica, o apoio estatal são combinados de modo a coproduzir a promessa de generalização, de que o campo das ICCs está numa crescente, em direção a um futuro imediato de adoção clínica (quase certamente, imagina-se) e comercial no longo prazo (visão mais especulativa).

Ocorre que a assimetria centro-periferia reverbera na capacidade de sustentar a incerteza *‘enquanto se faz algo a respeito’*, através de práticas vinculadas às expectativas de sucesso e protagonismo, que legitimam – apesar de frequentemente falíveis – a consolidação de uma agenda, resultando em programas nacionais e interesse regulatório constante. Com efeito, o imaginário central circula como se o peso da interrupção da dialética fosse menor ou uma questão de tempo, de superação inevitável caso as condições para a realização sejam suficientes. Em outras palavras o centro que é anomalia, não o contrário. O imaginário modula a percepção das possibilidades de desenvolvimento, contextualizando-as, ancorando-as na sociabilidade de cientistas, engenheiros, investidores, burocratas, políticos, médicos, voluntários e não humanos. A cada relação, a manifestação da interrupção assume a feição de um desafio particular, exigindo trabalho e capital para que o controle se viabilize na força, para que a fecundidade assuma a significância esperada. Nas periferias isso é raro, a interrupção não é percebida como o estágio inicial, com importância retórica de convocar a “nação” para a ação, é sim uma

estrutura de dependência, de relação subordinada, de restrições – sem as quais não há concentração e modelo de negócio para as *startups* escalarem globalmente.

No caso das Interfaces, como elas – as vezes literalmente– tocam a intimidade da manifestação do *self*, a dependência ganha um novo contorno, inscrito nas mediações do cérebro, na ponte entre intencionalidade no seu estado bruto e ruidoso (da atividade neural, materialista, assustadoramente complexa) e a estratégia das corporações (para fazer dinheiro, extrair dados, conquistar mercados, eliminar concorrentes). Essa estabilização exige um silenciamento sistemático sobre as condições de pesquisa na periferia, porque a definição da rota tecnológica é frequentemente a chave para a disputa da relevância. Do mesmo modo, é preciso contornar a rejeição do corpo pela inovação em design; a falta de acessibilidade pela redução dos custos; a desigualdade pela responsabilização individual. A estabilização também é assimétrica e a dialética é quase sempre excepcional.

No próximo e último capítulo, vamos buscar compreender como os pesquisadores rentar reatar a dialética considerando o contexto de atuação local, brasileiro e como tensionam os elementos do imaginário central, particularmente a tensão identificada entre autonomia/ inclusão e competição/ aprimoramento.

7.5. Fontes (matérias) usadas na subseção ‘7.2. Apresentação dos resultados’

-
- (i) Elon Musk’s Brain Chip Could Restore Vision and Mobility, But Has a Long Way to Go. **Discovery Magazine**, 29 mar. 2024. Disponível em: <https://www.discovermagazine.com/elon-musks-brain-chip-could-restore-vision-and-mobility-but-has-a-long-way-46053>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (ii) Neuralink’s request for human trials of brain implants was reportedly rejected by the FDA. **Popular Science**, 3 mar. 2023. Disponível em: <https://www.popsci.com/technology/neuralink-fda-delay>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (iii) 85% of Neuralink implant wires are already detached, says patient. **Popular Science**, 21 maio 2024. Disponível em: <https://www.popsci.com/health/neuralink-wire-detachment>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (iv) Neuralink admits patient’s brain implant is partially ‘retracted.’ **Popular Science**, 10 maio 2024. Disponível em: <https://www.popsci.com/health/neuralink-implant-detached>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (v) Neuralink seeks its next brain implant volunteer. **Popular Science**, 17 maio 2024. Disponível em: <https://www.popsci.com/technology/neuralink-next-volunteer>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (vi) New Device Allows Man With Paralysis to Type by Imagining Handwriting. **Smithsonian Magazine**, 14 maio 2021. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/experimental-device-allows-man-paralyzed-below-neck-type-thinking-180977729>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (vii) This Man Set the Record for Wearing a Brain-Computer Interface. **Wired**, 17 ago. 2022. Disponível em: <https://www.wired.com/story/this-man-set-the-record-for-wearing-a-brain-computer-interface>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (viii) The Brain-Implant Company Going for Neuralink’s Jugular. **IEEE Spectrum**, 20 dez. 2023. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/synchron-bci>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (ix) The Brain Implant That Sidesteps The Competition. **IEEE Spectrum**, 24 jan. 2024. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/brain-implant-close-to-market>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (x) New Stent-like Electrode Allows Humans to Operate Computers With Their Thoughts. 28 out. 2020. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/new-stent-like-electrode-allows-humans-to-operate-computers-with-their-thoughts>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xi) Eavesdropping on the Brain With 10,000 Electrodes. **IEEE Spectrum**, 28 maio 2022. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/brain-implant>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xii) This Soft Robot Unfurls Inside the Skull. **IEEE Spectrum**, 16 mar. 2023. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/soft-robotics>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xiii) A flower-shaped soft robot could make brain monitoring less invasive. **Science Focus**, 10 maio 2023. Disponível em: <https://www.sciencenews.org/article/soft-robot-flower-shape-brain-monitoring>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xiv) People Let a Startup Put a Brain Implant in Their Skull—for 15 Minutes. **Wired**, 6 jun. 2023. Disponível em: <https://www.wired.com/story/precision-neuroscience-brain-implant>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xv) Salt-Size Sensors Mimic the Brain. **IEEE Spectrum**, 28 mar. 2024. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/brain-machine-interface-2667619198>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xvi) This cap is a big step towards universal, noninvasive brain-computer interfaces. **Popular Science**, 1 abr. 2024. Disponível em: <https://www.popsci.com/technology/bci-wearable-cap>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xvii) New Neurotech Eschews Electricity for Ultrasound. **IEEE Spectrum**, 26 nov. 2023. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/bci-ultrasound>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xviii) AI lets man with paralysis type by just thinking about handwriting. **New Scientist**, 12 maio 2021. Disponível em: <https://www.newscientist.com/article/2277272-ai-lets-man-with-paralysis-type-by-just-thinking-about-handwriting>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xix) The brain-computer interface that works with imagined handwriting. **Science Focus**, 8 jun. 2021. Disponível em: <https://www.sciencefocus.com/news/the-brain-computer-interface-that-works-with-imagined-handwriting>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xx) Brain-Computer Interface Smashes Previous Record for Typing Speed. **IEEE Spectrum**, 1 jun. 2021. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/braincomputer-interface-smashes-previous-record-for-typing-speed>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxi) How AI-powered brain implants are helping an ALS patient communicate. **Popular Science**, 25 ago. 2023. Disponível em: <https://www.popsci.com/technology/brain-implants-algorithm-als-patient-communicate>. Acesso em: 10 fev. 2026
-

-
- (xxii) How People With Paralysis Can Command Computers Wirelessly With Their Minds. **IEEE Spectrum**, 19 abr. 2021. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/people-paralysis-command-computers-wirelessly>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxiii) Brain-Computer Interface Turns Thoughts to Text. **Discovery Magazine**, 6 jan. 2022. Disponível em: <https://www.discovermagazine.com/brain-computer-interface-turns-thoughts-to-text-43195>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxiv) Brain implants could be the next computer mouse. **MIT Technology Review**, 27 out. 2021. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/2021/10/27/1036821/brain-computer-interface-implant-mouse>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxv) What it is like to type with my thoughts? **New Scientist**, 21 fev. 2017. Disponível em: <https://www.newscientist.com/article/2121853-mind-reading-typing-tool-for-paralysed-people-is-fastest-yet>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxvi) This Implant Turns Brain Waves Into Words. **IEEE Spectrum**, 29 out. 2022. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/brain-computer-interface-speech>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxvii) Record Broken: Decoding Words From Brain Signals. **IEEE Spectrum**, 24 ago. 2023. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/brain-implant-speech>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxviii) Reading the Mind With Machines. **Discovery Magazine**, 20 jul. 2023. Disponível em: <https://www.brainfacts.org/neuroscience-in-society/tech-and-the-brain/2023/reading-the-minds-with-machines-062023>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxix) Exclusive Q&A: Neuralink's Quest to Beat the Speed of Type. **IEEE Spectrum**, 6 jul. 2021. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/elon-musk-brain-neuralink>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxx) Has Neuralink made a breakthrough in brain implant technology?. **New Scientist**, 21 mar. 2024. Disponível em: <https://www.newscientist.com/article/2423483-has-neuralink-made-a-breakthrough-in-brain-implant-technology>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxi) Brain-Reading Devices Allow Paralyzed People to Talk Using Their Thoughts. **Scientific American**, 24 ago. 2023. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/brain-reading-devices-allow-paralyzed-people-to-talk-using-their-thoughts>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxii) Can AI and fMRI “Hear”. **IEEE Spectrum**, 3 maio 2023. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/mind-reading-ai>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxiii) Woman With Paralysis Can Speak By Thinking With a Brain Implant and A.I.. **Smithsonian Magazine**, 28 ago. 2023. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/woman-with-paralysis-can-speak-by-thinking-with-a-brain-implant-and-ai-180982797>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxiv) A locked-in man has been able to communicate in sentences by thought alone. **MIT Technology Review**, 22 mar. 2022. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/2022/03/22/1047664/locked-in-patient-bci-communicate-in-sentences>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxv) Mind-reading technology lets locked-in sufferers communicate – and they report feeling happy. **Science Focus**, 31 jan. 2017. Disponível em: <https://www.sciencefocus.com/the-human-body/mind-reading-technology-lets-locked-in-sufferers-communicate-and-they-report-feeling-happy>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxvi) Device Decodes ‘Internal Speech’ in the Brain. **Scientific American**, 16 maio 2024. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/device-decodes-internal-speech-in-the-brain>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxvii) Some People Who Appear to Be in a Coma May Actually Be Conscious. **Scientific American**, 1 nov. 2022. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/some-people-who-appear-to-be-in-a-coma-may-actually-be-conscious>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxviii) A man with Parkinson's regained the ability to walk thanks to a spinal implant. **MIT Technology Review**, 6 nov. 2023. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/2023/11/06/1082993/parkinsons-spinal-implant>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xxxix) Brain Signals Can Drive Exoskeleton Parts Better With Therapy. **IEEE Spectrum**, 23 abr. 2021. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/brain-computer-interface-exoskeleton-neural-link>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xl) This robot arm can be controlled by the power of your brain. **Science Focus**, 21 jan. 2022. Disponível em: <https://www.sciencefocus.com/news/this-robot-arm-can-be-controlled-by-the-power-of-your-brain>. Acesso em: 10 fev. 2026
 - (xli) Researchers Create Mind-Controlled Robotic Arm With Sense of Touch. **Smithsonian Magazine**, 25 maio 2021. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/researchers-create-mind-controlled-robotic-arm-sense-touch-180977801>. Acesso em: 10 fev. 2026
-

(xlii)	The Metaverse Is Coming: We May Already Be in It. Scientific American , 22 fev. 2022. Disponível em: https://www.scientificamerican.com/article/the-metaverse-is-coming-we-may-already-be-in-it . Acesso em: 10 fev. 2026
(xliii)	The Race to Put Brain Implants in People Is Heating Up. Wired , 23 dez. 2023. Disponível em: https://www.wired.com/story/the-race-to-put-brain-implants-in-people-is-heating-up . Acesso em: 10 fev. 2026
(xliv)	This Man Set the Record for Wearing a Brain-Computer Interface. Wired , 17 ago. 2022. Disponível em: https://www.wired.com/story/this-man-set-the-record-for-wearing-a-brain-computer-interface . Acesso em: 10 fev. 2026
(xlv)	Artificial neuron swaps dopamine with rat brain cells like a real one. New Scientist , 8 ago. 2022. Disponível em: https://www.newscientist.com/article/2332554-artificial-neuron-swaps-dopamine-with-rat-brain-cells-like-a-real-one . Acesso em: 10 fev. 2026
(xlvi)	Dissolvable Optical Switches Control Neurons With Light. IEEE Spectrum , 9 set. 2022. Disponível em: https://spectrum.ieee.org/brain-machine-interface-optogenetics . Acesso em: 10 fev. 2026
(xlvii)	The injectable nanosensor that will one day read your thoughts. Science Focus , 24 jul. 2021. Disponível em: https://www.sciencefocus.com/news/the-injectable-nanosensor-that-will-one-day-read-your-thoughts . Acesso em: 10 fev. 2026
(xlviii)	A Soft, Wearable Brain-Machine Interface!. IEEE Spectrum , 10 ago. 2021. Disponível em: https://spectrum.ieee.org/a-soft-wearable-brain-machine-interface . Acesso em: 10 fev. 2026
(xlix)	DIY Neurotech: Making BCI Accessible. IEEE Spectrum , 19 abr. 2023. Disponível em: https://spectrum.ieee.org/neurotechnology-diy . Acesso em: 10 fev. 2026
(l)	Step aside, Futurama: Scientists build robot that is controlled by a brain in a jar. Science Focus , 5 jul. 2024. Disponível em: https://www.sciencefocus.com/news/this-robot-is-controlled-by-a-human-brain-in-a-jar . Acesso em: 10 fev. 2026
(li)	Neurotech's Battles Impact Our Brains' Future. IEEE Spectrum , 28 mar. 2023. Disponível em: https://spectrum.ieee.org/neurotechnology-battle-for-your-brain . Acesso em: 10 fev. 2026
(lii)	Advances in Mind-Decoding Technologies Raise Hopes (and Worries). Scientific American , 8 jan. 2024. Disponível em: https://www.scientificamerican.com/article/advances-in-mind-decoding-technologies-raise-hopes-and-worries1 . Acesso em: 10 fev. 2026
(liii)	When Mind Melds With Machine, Who is in Control?. Wired , 10 jan. 2022. Disponível em: https://www.wired.com/story/when-mind-melds-machine-whos-in-control-brain-computer-interface . Acesso em: 10 fev. 2026
(liv)	Why we should pay attention to the ethics of brain-computer interfaces? Popular Science , 3 jan. 2024. Disponível em: https://www.popsci.com/technology/ethics-of-brain-computer-interfaces . Acesso em: 10 fev. 2026
(lv)	The Rise of Neurotechnology Calls for a Parallel Focus on Neurorights. Scientific American , 27 maio 2021. Disponível em: https://www.scientificamerican.com/article/the-rise-of-neurotechnology-calls-for-a-parallel-focus-on-neurorights . Acesso em: 10 fev. 2026
(lvi)	When technology can read your brain waves, who owns your thoughts?. Popular Science , 18 abr. 2024. Disponível em: https://www.popsci.com/technology/brain-data-privacy . Acesso em: 10 fev. 2026
(lvii)	Neuralink's FDA Troubles Are Just the Beginning. IEEE Spectrum , 3 abr. 2023. Disponível em: https://spectrum.ieee.org/neuralink-seeks-fda-approval . Acesso em: 10 fev. 2026
(lviii)	Neuralink is searching for its first human test subjects. Popular Science , 20 set. 2023. Disponível em: https://www.popsci.com/technology/neuralink-human-test-search . Acesso em: 10 fev. 2026
(lix)	Neuralink's human trials volunteers 'should have serious concerns,' say medical experts. Popular Science . Disponível em: 21 set. 2023. Disponível em: https://www.popsci.com/technology/neuralink-monkey-abuse . Acesso em: 10 fev. 2026
(lx)	The Gruesome Story of How Neuralink's Monkeys Actually Died. Wired , 20 set. 2023. Disponível em: https://www.wired.com/story/elon-musk-perm-neuralink-monkey-deaths . Acesso em: 10 fev. 2026
(lxi)	US Lawmakers Ask SEC to Launch Fraud Investigation Into Elon Musk. Wired , 22 nov. 2023. Disponível em: https://www.wired.com/story/elon-musk-neuralink-congress-sec-letter . Acesso em: 10 fev. 2026
(lxii)	Elon Musk alleges Neuralink completed its first human trial implant. Popular Science , 30 jan. 2024. Disponível em: https://www.popsci.com/technology/neuralink-first-human-trial . Acesso em: 10 fev. 2026
(lxiii)	Beyond Neuralink: Meet the other companies developing brain-computer interfaces. MIT Technology Review , 19 abr. 2024. Disponível em:

-
- <https://www.technologyreview.com/2024/04/19/1091505/companies-brain-computer-interfaces>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxiv) Elon Musk wants more bandwidth between people and machines. Do we need it?. **MIT Technology Review**, 29 set. 2023. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/2023/09/29/1080472/elon-musk-bandwidth-brains>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxv) Elon Musk's plans for mind-controlled gadgets: what we know so far . **New Scientist**, 17 jul. 2019. Disponível em: <https://www.newscientist.com/article/2210201-elon-musks-plans-for-mind-controlled-gadgets-what-we-know-so-far>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxvi) Elon Musk's Neuralink Has Implanted Its First Chip in a Human Brain. What's Next?. **Scientific American**, 30 jan. 2024. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/elon-musks-neuralink-has-implanted-its-first-chip-in-a-human-brain-whats-next>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxvii) Everything We Know About Neuralink's Brain Implant Trial. **Wired**, 19 set. 2023. Disponível em: <https://www.wired.com/story/everything-we-know-about-neuralinks-brain-implant-trial>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxviii) Tech that aims to read your mind and probe your memories is already here. **MIT Technology Review**, 17 mar. 2023. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/2023/03/17/1069897/tech-read-your-mind-probe-your-memories>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxix) China Has a Controversial Plan for Brain-Computer Interfaces. **Wired**, 30 abr. 2024. Disponível em: <https://www.wired.com/story/china-brain-computer-interfaces-neuralink-neucyber-neurotech>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxx) Dry EEG Sensors Control Army Robots. **IEEE Spectrum**, 5 abr. 2023. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/brain-machine-interface-dry-sensor>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxi) The power of thought. **Science Focus**, 3 jun. 2018. Disponível em: <https://www.sciencefocus.com/future-technology/the-power-of-thought-neuroscience>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxii) Billionaires See VR as a Way to Avoid Radical Social Change. **Wired**, 15 fev. 2021. Disponível em: <https://www.wired.com/story/billionaires-use-vr-avoid-social-change>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxiii) Why computers won't be reading your mind any time soon? **Wired**, 12 mar. 2020. Disponível em: <https://www.wired.com/story/brain-computer-interfaces>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxiv) Should you upgrade your brain?. **Science Focus**, 14 nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencefocus.com/future-technology/should-you-upgrade-your-brain>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxv) Neuralink shows first human patient using brain implant to play online chess. **Popular Science**, 21 mar. 2024. Disponível em: <https://www.popsci.com/technology/neuralink-first-human-video>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxvi) In a Jedi-like feat, rats can move a digital object using just their brain. **Science News**, 2 nov. 2023. Disponível em: <https://www.sciencenews.org/article/jedi-rats-move-digital-object-using-brain>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxvii) The Tech Behind the Mind-Reading Pangolin Dress Could Lead to Wireless—and Batteryless—Exoskeleton Control. **IEEE Spectrum**, 11 set. 2020. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/the-tech-behind-a-mind-reading-dress-could-lead-to-wireless-batteryless-exoskeleton-control>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxviii) Artists Who Paint With Their Feet Have Unique Brain Patterns. **Smithsonian Magazine**, 30 jan. 2020. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/artists-who-paint-with-their-feet-have-unique-brain-patterns-180974064>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxix) Two arms good, three arms better. **Science Focus**, 4 set. 2018. Disponível em: <https://www.sciencefocus.com/future-technology/two-arms-good-three-arms-better>. Acesso em: 10 fev. 2026
- (lxxx) The Tech Behind the Mind-Reading Pangolin Dress Could Lead to Wireless—and Batteryless—Exoskeleton Control. **IEEE Spectrum**, 11 set. 2020. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/the-tech-behind-a-mind-reading-dress-could-lead-to-wireless-batteryless-exoskeleton-control>. Acesso em: 10 fev. 2026
-

8. A coprodução situada de valores sociais e cognitivos

Foram conduzidas treze entrevistas em profundidade – onze docentes e dois doutorandos, dos quais três estrangeiros e três mulheres – distribuídas em duas rodadas (abril–junho 2023; agosto 2024–fevereiro 2025). O primeiro conjunto de entrevistados selecionados decorreu da aplicação de uma “Tabela de Verdade” (Ragin, 2009), que mapeou 21 docentes, dos quais 7 aceitaram o convite. A baixa adesão motivou a adoção do método “bola de neve”, que acrescentou seis participantes. Todas as falas foram anonimizadas, contudo em algumas seções conservou-se a referência às instituições de filiação como um critério de transparência. O corpus é suficiente para captar tendências centrais, embora não pretenda a generalização de um *survey*.

Entrevistado	Duração	Atuação	Região	Método	Área
1	1h36min	Docente	Sudeste	i	Elétrica
2	1h50min	Docente	Sudeste	ii	Elétrica
3	1h49min	Docente	Nordeste	i	Biomédica
4	1h59min	Docente	Nordeste	ii	Computação
5	2h29min	Docente	Sudeste	ii	Elétrica
6	1h48min	Docente	Sudeste	i	Computação
7	2h02min	Docente	Nordeste	i	Biomédica/ Neuroeng.
8	1h26min	Docente	Sudeste	i	Elétrica
9	1h36min	Docente	Sudeste	ii	Neurologia
10	57min	Docente	Nordeste	i	Biomédica/ Neuroeng.
11	1h12min	Doutorando	Sudeste	ii	Biomédica/ Neuroeng.
12	1h29min	Doutorando	Sudeste	ii	Elétrica
13	1h40min	Docente	Sudeste	i	Biomédica/ Neuroeng.

Tabela 10: Perfil dos entrevistados.

Fonte: Elaboração própria. Observação: Método i – Tabela de Verdade; Método ii – ‘Bola de Neve’.

A cartografia explicita a formação de ‘centros-na-periferia’. A vantagem do Sudeste, no tocante aos recursos, impacta na densidade das redes e disponibilidade de infraestrutura avançada, enquanto o Nordeste se legitima por meio de resultados clínicos pioneiros.

Instituição e áreas	Região	n. de entrevistados
A – Biomédica/ neuroengenharia/ computação	Nordeste	3
B – Elétrica	Sudeste	2
C – Elétrica/ Computação/ Neurologia/ biomédica	Sudeste	4
D – Biomédica	Sudeste	0
E – Biomédica	Sudeste	1
F – Bioinformática	Nordeste	1* Egresso da instituição C
G – Elétrica	Sudeste	1* Egresso da instituição C
H – Biomédica	Sudeste	1* Egresso da instituição C

Tabela 11: Informações sobre a filiação institucional dos entrevistados.

Fonte: Elaboração própria.

8.1. Metodologia

O presente capítulo adota uma abordagem exploratória. As transcrições foram inicialmente resumidas por ChatGPT e posteriormente refinadas à luz de leitura exaustiva pelo pesquisador, que selecionou quatro fragmentos ilustrativos por entrevistado. Essa triangulação mitigou a tendência de homogeneização algorítmica e conservou peculiaridades relevantes. A mudança de foco, que pode ser notada no decorrer da argumentação, da fenomenologia da identidade para condições organizacionais de pesquisa, o que refletiu a preferência temática dos entrevistados. Cabe destacar que a ausência de fisioterapeutas, startups e pacientes limita a profundidade fenomenológica e mercadológica dos achados. Estudos subsequentes deverão incorporar esses atores, bem como abordagens etnográficas *in loco*, para captar processos de estabilização e tradução. Por recomendação da banca de defesa, o capítulo passou por uma reestruturação completa.⁷² A principal crítica feita consistiu em apontar, na versão 1, a falta da mobilização do enquadramento teórico, que parecia mais “instrumental” do que realmente “analítico”. De modo a corrigir o problema, as entrevistas foram revisitadas à luz dos conceitos teóricos desenvolvidos no decorrer da tese (interrupção da dialética, centro-periferia, ética somática) numa estrutura diacrônica e temática. Num primeiro momento, o foco da escrita esteve concentrado nas trajetórias e particularidades de cada grupo de pesquisa, depois expandiu-se a análise em temas articuladores, de modo a demonstrar os conceitos pela operacionalização dos resultados.

8.2. Escopo

Esta pesquisa investiga as perspectivas de valor que norteiam a P&D em Interfaces no Brasil e sua relação com o trabalho de docentes e pesquisadores dedicados ao tema.⁷³ Por *perspectiva de valor* compreende-se o conjunto de posições ético-políticas sustentadas em trajetórias sociais e articuladas em narrativas capazes de alinhar ou antagonizar coletivos em torno de visões de mundo. Tais narrativas raramente são unitárias; manifestam-se de forma híbrida, contraditória e situada, motivo pelo qual a distinção analítica entre valores *cognitivos* (próprios da prática científica) e valores *sociais* (referentes à inclusão, equidade etc.) funciona aqui como heurística. No caso dos cientistas entrevistados, os valores cognitivos — rigor metodológico,

⁷² O autor agradece a Banca de Defesa pela leitura crítica do trabalho, particularmente os apontamentos da membro Dra. Sayonara Leal que apontavam para a necessidade da reestruturação desse capítulo.

⁷³ A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em pesquisa da UnB e respeitou todos os requisitos exigidos pelo Comitê. O CAAE (Certificado de Apresentação para Apreciação Ética) da pesquisa é ‘66442122.3.0000.5540’.

reprodutibilidade, publicabilidade – sustentam a legitimidade da prática e convivem com valores sociais que motivam aplicações clínicas e serviço público (autonomia inclusiva).

A escolha do caso ICC não é fortuita. O cérebro, por singularizar a identidade pessoal, confere às ICCs densidade ética incomum, com repercussões culturais e políticas ainda em estabilização. Com as ICCs, a interação cérebro-computador redefine práticas de assistência e reabilitação, oferecendo novos graus de agência a pacientes com severas limitações motoras. Essa conquista, contudo, emerge de um encontro entre intenções sociais e capacidade tecnológica circunscrito por condições materiais muito específicas. Tal hibridização já foi explorada teoricamente na Parte 1, aqui retoma-se apenas para sublinhar a ambivalência estrutural das ICCs entre inclusão terapêutica e expansão performativa.

8.3. Apresentação dos Resultados – Entrevistas

As entrevistas foram conduzidas para investigar como pesquisadores de ICCs no Brasil vivenciam e negociam a tensão entre a fecundidade cognitiva de suas pesquisas – medida pela capacidade de produzir conhecimento de alto rigor, publicável em circuitos internacionais – e a significância social que atribuem ao trabalho – expressa na promessa de autonomia inclusiva para pessoas com deficiências motoras e neurológicas.

8.3.1. O campo como arranjo sociotécnico

As entrevistas revelaram que, geralmente, os pesquisadores atuantes no campo das Interfaces não professam uma vocação específica em neurotecnologia, nota-se, na verdade, um outro padrão: são os pesquisadores das ciências duras – como matemática, telecomunicações, física, robótica – que migram para bioengenharia e neurociência, áreas interdisciplinares e assim entraram em contato com as ICCs. Uma das principais motivações é a busca por uma agenda com significância (ajudar as pessoas com deficiências e condições neurológicas) combinada ao desafio do rigor técnico (fecundidade, avançar o conhecimento científico) que a pesquisa interpelada pela clínica/ saúde exige. As identidades profissionais giram em torno desse entrelaçamento. Ao mesmo tempo, a permanência no campo implica a materialidade das infraestruturas sociais (principalmente a de financiamento), as assimetrias do campo (pesquisa local e pesquisa global; periferia e centro) e resultados (inovação em hardware e software), que se confundem com as biografias dos cientistas. No contexto nacional, o tema do financiamento público da ciência é estruturante e está organizado em três ciclos de expansão-contração.

8.3.1.1. Fase 1: Os veteranos e o desafio da falta estrutural (1990–2005)

O período de formação e ingresso na carreira de pesquisador dos “veteranos” do campo é caracterizado pela contração do investimento público em ciências nos anos 90 na esteira do alinhamento ideológico da burocracia estatal com o compromisso liberal de redução do endividamento e estabilização macroeconômica. No caso do pioneiro da área, a crise das contas públicas exigiu um movimento de reposicionamento da robótica para a bioengenharia (interseção entre engenharia, medicina e próteses) onde havia alguma disponibilidade de recursos (pouca, contudo maior) e coincidiu com uma agenda de pesquisa voltada para tecnologias assistivas que poderia ancorar a busca por financiamento alternativo, como uma tática de inserção. Há, nesse caso, um duplo registro: a mudança de área ocorre porque a condição de contorno era da “falta”, mas ela agencia um repertório outro, moral, de inclusão. Num registro sociológico da coprodução, a restrição financeira está em mútua relação com a emergência de um senso de dever e cuidado que possa compensá-la.

Aí foi a dificuldade de ter recursos para continuar. Isso foi em 1995... não tinha dinheiro para nada. E eu pensei, bom, vou suar meus conhecimentos de sensores, robótica para tentar ir para outra área, que tenha algum tipo de captação de recursos, foi quando eu entrei na engenharia biomédica. [...] Essa foi a minha avaliação. Para a sociedade. Não era porque as agências de fomento estavam, por exemplo, tendo uma orientação na época para engenharia. Eu que gerei, digamos, a questão de pesquisa, focada para a sociedade, para ajudar pessoas com deficiência. (Entrevistado 8)

Outro pioneiro, relata que apesar do Brasil contar com grupos que estudavam tópicos de fronteira nos anos 90, como IA, havia uma assimetria clara sobre o que era possível alcançar de um ponto de vista tecnológico, da tradução para a clínica. A solução de pesquisa era a internacionalização, a migração para o centro como condição de materialização de uma agenda inovadora. A interrupção da dialética assume aqui uma feição típica de alta fecundidade com imobilidade prática da significância. A visão tecnológica prometia solucionar um problema local, mas as condições práticas implicavam a distância entre excelência (conhecimento) e tradução (clínica, SUS) e a responsabilização do pesquisador sobre a construção de um arranjo viabilizador.

Isso foi em 1991. [...] eu acabei a residência e me envolvi com um grupo de pesquisa biomédica da UFSC, que estudava inteligência artificial. [...] naquela época era uma situação primitiva, o que o pessoal estava fazendo. E eu acabei me interessando, querendo fazer alguma coisa na área, um sistema de diagnóstico para epilepsia [...] seria uma maneira de ajudar o sistema público no diagnóstico. [...] Na época, no Brasil, não tinha centros dedicados ao diagnóstico através de vídeo. Então, qual era a minha ideia? Colocar alguns eletrodos na cabeça da pessoa, fazer o registro a distância [...] quando eu voltei

[anos 2000, do Canadá] não tinha as condições mínimas e daí a gente começou a criar alguma coisa. (Entrevistado 9)

Os veteranos do campo exemplificam o padrão de institucionalização da ciência no Brasil, que parte do protagonismo dos cientistas “estrelares”, responsáveis pela forja das condições materiais de pesquisa encontradas nos centros; são eles que atraem o financiamento através de um currículo de classe global, simulando com isso a centralidade num contexto de escassez (o “centro-na-periferia”), exercendo através da sua influência a atração de talentos do entorno mais imediato (a “periferia-na-periferia”), acumulando com isso a massa crítica necessária para a reprodução social.

Não havia, entre 1990 e meados de 2005, uma Política de CT&I atuante para o campo, eram os próprios veteranos (naquele momento “iniciantes”) quem construíram os “centros” pela adaptação às raras oportunidades e agenciamento de redes e contatos, para criar um momentum, ganhar tração e atrair recursos. Essa perspicácia antecedeu o reconhecimento dos pares científicos.

Não tinha naquele momento dinheiro da Capes e CNPq, nada, não davam apoio, porque primeiro eu era iniciante. [...] eu nunca me esqueço de quem primeiro nos apoiou, os órgãos municipal e estadual. Isso aí já saiu na grande mídia [...] aí mudou de figura, porque aí tive o apoio da Capes, CNPq, Finep, mas foi depois. (Entrevistado 8)

No outro caso, foi a rivalidade entre diferentes projetos de regionalização que catalisou a institucionalização, como se o *status* de ‘centro-na-periferia’ estivesse sendo deslocado com a chegada de um novo grupo, estimulando (de forma reativa) a aproximação entre os *silos* das universidades estaduais locais, criando a base de pesquisa onde as ICCs ganhariam corpo anos depois.

O diretor [da FAPESP] depois que voltou [do Instituto do Cérebro no Rio Grande do Norte] disse ‘acho que nós, São Paulo, precisamos dar uma resposta’ [...] Assim foi lançado o programa [...] compramos três máquinas de ressonância [...] cada uma custava um milhão por Tesla. (Entrevistado 9)

Nesse período, as estruturas institucionais eram frágeis. Os veteranos, iniciantes no campo, mas com credenciais acadêmicas de “centro”, ambos formados no exterior, atuavam num regime que lhes exigia adaptação à escassez de apoio e tiveram que, cada um à sua maneira (visibilidade midiática, rivalidade regional), ativar as condições de estruturação para uma agenda de pesquisa que lograsse perenidade.

8.3.1.2. Fase 2: A nova geração e a expansão do financiamento (2010–2014)

No final dos anos 2000 o financiamento público da ciência alcançou o seu ápice e o campo das Interfaces passou por um processo global de estabilização metodológica que trouxe credibilidade. A Finep e FAPESP induziram via editais projetos de tradução e prototipação (cadeiras de rodas, tecnologias assistivas), mais a constância nos repasses para Capes e CNPq possibilitaram que os veteranos recrutassem outros pesquisadores e atraíssem estudantes para a carreira de pesquisa na pós-graduação – incluindo estrangeiros, particularmente latino-americanos – conferindo aos grupos emergentes uma identidade de “cuidado”, ligada ao desenvolvimento de tecnologias assistivas.

Surgiu essa possibilidade junto com o pessoal da física médica e da própria medicina, que tinham alguns contatos na neuro da [Universidade]. Eles me convidaram como uma pessoa de processamento de sinais e *machine learning* [...] Começamos do zero a trabalhar com BCI. No grupo, ninguém tinha experiência prévia. (Entrevistado 1)

Procurei o professor que estava começando um projeto de interface cérebro-computador. Ele me perguntou se eu queria entrar no projeto [...] e eu também queria usar um pouco da parte de teoria da comunicação [...] aceitei o convite. (Entrevistado 2)

A professora sugeriu que eu fizesse o mestrado com um desses professores e foi assim que conheci o professor. [...] No projeto, entrei com a promessa de desenvolver uma cadeira de rodas controlada por uma interface computadorizada. [...] O desafio técnico era enorme. Eu fui responsável por escrever o código da interface. (Entrevistado 5)

No meio do [projeto] teve uma chamada Finep para o desenvolvimento de tecnologias assistivas. Foi aí que comecei a trabalhar, então foi por volta de 2010, que a gente lançou o projeto [...] a gente juntou o pessoal e montou o [Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão]. (Entrevistado 6)

O cenário de interrupção da dialética, estrutural, apresentava sinais de reversão, com a estabilização da agenda em Interfaces e a formação de uma “herança acadêmica”, ao mesmo tempo os programas de formação de recursos humanos no exterior ganharam impulso, projetando uma nova geração de cientistas brasileiros. As ICCs entraram como um instrumento/meio em temas já familiares, como o processamento de sinais fisiológicos (utilidade clínica) e pesquisa básica (entendimento do código neural). Porém, a estabilização dos grupos de pesquisa não resultou na estabilização dos artefatos (as interfaces), que se tornou uma entidade intermediária, um protótipo funcional em suspensão, que não chega até os pacientes. A tecnologia não cruza o “vale da morte” do risco tecnológico inerente ao desenvolvimento, não há estabilização além dos muros da universidade e a dialética, parcialmente reatada, cai num limbo.

Chegamos perto de ter uma sistema mais fechado, com comando simples via BCI. [...] Não é fácil construir esse “produto” entre aspas. [...] Acho que falta também essa interface final de desenvolver um produto, que tem uma série de desafios de engenharia específicos da aplicação prática e comercial. (Entrevistado 1)

Tudo o que desenvolvemos até agora, discutimos a possibilidade de patentear, mas ele [o orientador] foi terminantemente contra. [...] Desenvolvemos uma cadeira de rodas com controle BCI, que poderia ser popularizada com a iniciativa certa. No entanto, sem patentes, não sei exatamente quais seriam os próximos passos. (Entrevistado 2)

O centro opera fundamentalmente como um polo gravitacional diferenciado por uma infraestrutura de ponta e uma cultura acadêmica competitiva e globalizada, receptora de pesquisadores com diferentes nacionalidades. A volta para o Brasil é caracterizada pela dubiedade entre a possibilidade de contribuir com um projeto ou instituição nova e pela consciência da assimetria entre centro e periferia no tocante à significância real da pesquisa científica – uma mistura entre entusiasmo nacionalista e melancolia cosmopolita.

Eu fui para um doutorado na Europa, já na área de interface cérebro-computador para a reabilitação de pacientes [...] fui para o Instituto que é a referência, o maior do mundo, então estava ciente que eu queria ir para lá. [...] Quando cheguei lá, eu queria publicar tudo. E meu colega, com olhos franzidos, respondeu, ‘não vamos publicar isso, é algo óbvio...’. Aqui no Brasil nós somos incentivados a ter números. A bolsa PQ, Currículo Lattes, todos eles são métricas de produção [...] Fui convidado para vir para cá e ajudar a criar esse programa e para entrar no projeto, que era para a abertura [do megaevento]. (Entrevistado 10)

Dada a interrupção da dialética, os jovens pesquisadores aprendem rápido que precisam se destacar através de um “currículo Lattes” que simule a centralidade, mesmo que no “centro” (Europa, nesse caso) a utilidade real esteja na tradução do conhecimento. Ao decidirem pela academia, precisam contornar um sistema que exige um empenho dobrado para compensar as restrições nas possibilidades de formar pós-graduandos e de acesso aos bons editais – combinação padrão para a realização de pesquisa no Brasil. As métricas de avaliação, que supostamente manifestam a excelência, estão ancoradas na capacidade de reprodução dos já estabelecidos. Nesse cenário, o iniciante se associa com quem já tem força ou performa, sob um custo pessoal gigantesco, a autossuficiência. Em outras palavras, os incentivos para a escalada na carreira são residuais. Na verdade, trata-se mais de uma provação individual, ascendendo porque driblaram por conta a asfixia institucional ao se tornarem um pesquisador-ilha, excepcionalmente produtivo e com alguma sorte com um grupo de pesquisa funcional para chamar de seu.

Fui para a Europa justamente para trabalhar com o criador desse modelo, que foi meu orientador. [...] Temos alunos que estão nas melhores universidades do mundo, o treinamento que recebem aqui é suficiente para colocá-los em nível de competição com os melhores. Hoje, é muito difícil de manter um grande talento no grupo. Temos acadêmicos que estão deixando a carreira no Brasil e indo para a indústria ou para fora do país. [...] É muito difícil, porque você tem que ser um pesquisador bem estabelecido para ter acesso ao fomento que é relevante. Eu, por exemplo, que estrou na universidade, o edital universal te dá 20 mil reais em três anos e uma bolsa de iniciação, com isso você consegue, com muita dificuldade, comprar um equipamento simples de registro não invasivo e é uma bolsa de iniciação científica, não dá para fazer perguntas profundas. Você tem que se associar a um programa de pós-graduação, mas aí entra outro ciclo que é a academia brasileira. Para se associar você precisa de um histórico de publicações, para ter um histórico de publicações você precisa desenvolver pesquisa. Então, é um pouco como a história do ovo e da galinha. (Entrevistado 3)

Aqui a figura dos jovens pesquisadores e dos veteranos se entrecruzam. Depois de pagarem o pedágio da autossuficiência, superando a falta de apoio institucional através de soluções criativas, da fortuna das oportunidades de visibilização do próprio trabalho ou do embarque num momento politicamente favorável, o pesquisador se torna uma autoridade epistêmica no campo. Se as condições financeiras o acompanharem, há um descolamento da periferia – cria-se as condições de centralização num meio de falta, o ‘centro-na-periferia’. Ao diferenciar-se, o veterano passa a interpelar outros pesquisadores, que julga promissores, para recrutá-los, estendendo a sua influência na periferia – a margem, a ‘periferia-na-periferia’, contexto de imobilidade epistêmica, de desconhecimento do estado da arte – como um líder local que representa a excelência.

Lá [país caribenho], nós não tínhamos, por exemplo, acesso como aqui no Brasil, a revista de primeira, da IEEE, as revistas especializadas. Lá, por exemplo, a oportunidade para trabalhar era em companhias de telefonia [...] eu não me via nesse tipo de trabalho [...] eu queria fazer algo diferente. [...] Então o professor me convidou para fazer um doutorado. Ele elaborou o projeto e eu apliquei para o doutorado para [Universidade Federal]. Posso te falar que fiz uma mudança radical. (Entrevistado 7)

O laboratório ganhou uma projeção internacional. Chega no laboratório alunos do Canadá, Alemanha, Holanda, Índia, muitos da América do Sul, muitos alunos da Colômbia, Argentina, Peru, Bolívia, Equador e Cuba. (Entrevistado 8)

Os talentos da periferia são valiosos, a proficiência deles é formada na aridez, na necessidade de fazer muito com quase nada, de sofrer com as condições materiais e ao mesmo tempo entregar o desenvolvimento de modo artesanal – o que paradoxalmente é um imunizante contra a dependência extrema, da importação pura e simples das “caixas pretas”. As condições criadas pelo veterano (bolsas, projetos e acessos a redes) posicionam o que antes era periferia

como um contexto de “abundância relativa”, um oásis no deserto, do qual é possível alavancar a pesquisa, mesmo que a estabilização tecnológica continue precária. O polo da fecundidade cria raízes, se torna um ‘par’ do centro, ainda que marcado pela interrupção que o afasta da significância prática, mas competitivo no tocante ao conhecimento e formação científica. O tema de fronteira é internalizado e passa a circular. Os talentos emergem. No caso das Interfaces, alguns grupos e líderes possuem uma entrada regional, na América Latina, mas também no “centro”, influência que serve de porta para capital humano.

8.3.1.3. *Fase 3: A liderança centro-periférica brasileira em meio à retração (2015–2022)*

O ano de 2015 marca um ponto de retração nos investimentos em CT&I, com a volta ao poder de forças políticas que tentaram reproduzir – com a mesma virulência do passado – as fórmulas liberais de estabilização. Entretanto, apesar disso, os grupos brasileiros continuaram a atrair talentos de fora, particularmente da América Latina (AL), através de redes de colaboração entre orientadores e apoio das fundações estaduais de pesquisa – bolsas que, no país de origem, não existem, o que paralisa a pesquisa na periferia (imobilidade epistêmica, baixíssima autonomia, incredulidade sobre a viabilidade da inovação) e estimula a emigração. A presença de diferentes grupos e universidades brasileiras com linhas de pesquisa em ICC também é um ponto de manifesta ‘abundância’, viabilizando a complementaridade entre abordagens (pesquisa aplicada e básica) e superação de desafios tecnológicos.

[...] nunca cheguei e terminar o projeto no [país de origem], a gente não tinha os recursos para comprar a cadeira de rodas. [...] Meu orientador da graduação estava na mesma rede... se encaixou muito bem para eu continuar a minha pesquisa no Brasil. Mesmo que seja pouco [o valor da bolsa], ajuda, porque sem não teria onde morar. [...] Na América Latina é mais difícil acreditar em novar propostas, não é comum falar em BCI [...] é muito mais difícil acreditar que esses sistemas [as Interfaces] vão funcionar e que sejam melhores [que a terapia convencional]. (Entrevista 11)

[Lá] não tem esse tipo de fundação [estadual]. É um investimento para a pesquisa. E aqui, por isso, acho que o Brasil é muito melhor, as oportunidade para pesquisa. [...] Esse tipo de fundações não existe lá. [...] Aqui, no Brasil, muitos sistemas estão desenvolvidos [...] por exemplo, cada estado aqui no Brasil, ou a maioria dos estados, tem uma fundação dedicada a pesquisa. [...] A minha primeira oportunidade foi na [Universidade Federal], onde tinha um grupo muito forte. Eles postaram no LinkedIn que precisavam de estudantes de pós-graduação e fui selecionado e viajei para o Brasil. [...] Eu acho que a parte não invasiva está chegando num plateau [...] eu queria uma área complementar e aqui [Universidade Estadual] o grupo é mais centrado no entendimento do corpo humano, lá eles estão mais interessados em como desenvolver a tecnologia. (Entrevista 12)

Em outras palavras, o ambiente de pesquisa brasileiro, apesar de precarizado, é relativamente superior ao dos países vizinhos, porque possui um “sistema” que apoia parcialmente a temporalidade da pesquisa e a internacionalização dos resultados (a participação em congressos de alto impacto) – o empenho individual é um complemento necessário, é preciso ‘tirar do próprio bolso’. Mas ainda assim, distinto do contexto central, principalmente no que concerne ao investimento privado – nesse aspecto, periferia e centro-na-periferia são idênticos – explicitando a instabilidade da combinação entre fecundidade e significância quando o limiar é o mercado.

No começo, quer dizer, no mestrado, não tinha muito conhecimento [sobre o apoio da fundação para viagens a congressos internacionais]. [...] Os professores não falavam muito sobre isso, então meio que vira um monopólio [...]. Então, por exemplo, no último evento que eu participei, consegui pagar a passagem e o hotel [com o repasse da fundação], mas não consegui pagar as comidas e cobrir a inscrição, saiu da minha poupança. (Entrevistado 11)

Por hora não [interesse privado nas Interfaces], não para um país como o Brasil, mas para os Estados Unidos, para um país desenvolvido, sim. Ou seja, quase todos os países aqui, de Sulamérica estão em desenvolvimento. [...] Países como Estados Unidos já têm um monte de coisas feitas. Para esse tipo de país [em desenvolvimento], ainda não, não têm interesse nessa parte de investir nessa tecnologia [as Interfaces]. (Entrevistado 12)

No cenário global, o campo das Interfaces se consolidava em duas frentes, de um lado pelo desenvolvimento de hardware não invasivo mais barato de outro pela explosão das técnicas de *deep learning* (IA) para a decodificação dos sinais cerebrais. As décadas de experimentações deixaram como legado algumas bases de dados abertas que viabilizaram a entrada de pesquisadores dedicados ao desenvolvimento de software, que dispensa a necessidade de laboratórios caros. Com isso, viabilizou-se a migração de cientistas da computação para o desenvolvimento de algoritmos neurais, numa decisão pragmática que reconhece um espaço produtivo e acessível para a periferia – contornando a dependência de hardware e sensores que é esmagadora.

No começo, no meio da graduação, me interessei por formas não usuais de interação com computadores, pesquisava muito sobre como simular a inteligência humana. Enquanto explorava interfaces não usuais, encontrei bases de dados de neurociência, como eletroencefalografia [EEG]. [...] Nosso grupo decidiu focar em sistemas computacionais porque vimos que era um tópico pouco explorado no Brasil, o que poderia proporcionar maior inserção acadêmica. [...] Nós não desenvolvemos hardware; utilizamos equipamentos existentes, como EEG, para criar formas de controle [...] Nosso trabalho envolve apropriar-se de tecnologias externas e adaptá-las à nossa realidade e necessidades, criando uma inovação incremental. [...] Alguns são [código aberto], outros não. Por exemplo, o OpenBCI é de código aberto. Outros sistemas, como o NeuroSky e o Emotiv são fechados e possuem APIs próprias.

Usamos bibliotecas de software para processar os dados brutos desses dispositivos. [...] Empresas como Emotiv e NeuroSky não têm sede no Brasil e importar seus produtos é caro devido ao imposto. (Entrevistado 4)

A materialidade da inserção via software é a nuvem, com os dados produzidos no centro, de ‘elevada’ fecundidade, a um custo inicial quase zero. Contorna-se, via plataformação, a ausência de uma manufatura instalada no Brasil de sensores (EEG), apostando numa estratégia incremental. Os pesquisadores brasileiros usam e inovam sobre os métodos de IA, mas reconhecem que o centro de gravidade da inovação é estrangeiro, principalmente porque a infraestrutura (onde os dados estão, os *data centers*) e a capacidade de processamento (os supercomputadores) não foi internalizada ou, para o caso da pesquisa com Interfaces, não está disponível – a realidade desse campo não é necessariamente a de outros, apesar de ser a mais comum.

A interrupção da dialética (norma, não anomalia) transmutou, em cada uma das fases, o mecanismo de bloqueio entre fecundidade e significância. No primeiro, há um grau de ‘falta’ que prejudica a ciência de base, a formação de pesquisadores, gerando um contexto tipicamente periférico, sem as condições mínimas e um direcionamento claro pelas instituições, o que exigiu dos veteranos (formados no exterior) um reposicionamento da dialética nos termos de um “encontro futuro” – *da promoção da autonomia de pessoas com deficiências* – como uma tática para captar recursos alternativos e forjar redes pelo esforço individual e projeção da liderança.

Num segundo momento, o Estado assumiu a dianteira com projetos estruturantes, estimulou uma fecundidade equiparável ao do “centro”, mas ainda assim marcada pela insularidade, sem uma indústria interessada nos resultados, sem uma articulação em rede entre os grupos atuantes. Os protótipos funcionais são provas do sucesso das universidades e institutos em alcançar o estado da arte. Apesar de não terem desencadeado a reação desejada, de um ciclo de investimento potencializado pela iniciativa privada, a falta já não era mais de fecundidade e sim das engrenagens de tradução (capital de risco, agências de inovação, patenteamento) para significância (mercado, SUS).

O terceiro é marcado pela queda abrupta dos investimentos federais, amortecida por um sistema de fundações estaduais – principalmente no Sudeste – que criou as condições de continuidade da excelência num cenário de crise. Ainda assim, houve uma ‘abundância relativa’, quando o Brasil é comparado aos países vizinhos, o que sustentou a atração de talentos estrangeiros e estabilizou a fecundidade local com um perfil de pesquisador que faz muito com pouco. Simultaneamente, com a desidratação dos grandes editais para aquisição de hardware,

os grupos novos contornaram a barreira de entrada focando na inovação em software (bases de dados estrangeiras, machine learning), buscando um nicho de internacionalização via publicações.

8.3.2. Os ‘grupos-nós’ e as tentativas (e desafios) de estabilização sociotécnica

Os editais das agências de fomento estatais são estabilizadores materiais da transmutação de ‘periferia’ para ‘centro-na-periferia’, é o que torna um cientista estrelar, com um currículo Lattes competitivo, em líder regional e com entrada no “centro” como um “par”, representante de um grupo altamente produtivo (artigos, pesquisadores em formação, colaboração entre orientadores e pupilos), relativamente abundante (bolsas, equipamentos, apoio para viagens) e com linhagens que alcançam a marca de décadas de pesquisa contínua (temporalidade da pesquisa em contraposição à imobilidade que caracteriza a periferia-na-periferia). As entrevistas puderam revelar as dinâmicas de três grupos-nós:

8.3.2.1. Nó Unicamp/SP

A rede mais densa de pesquisadores, altamente fecunda; forte ética de autonomia inclusiva; abundância relativa (FAPESP), com infraestrutura mais pesada de pesquisa.

O primeiro deles se concentra numa das regiões mais ricas do país, conhecida por ser um polo de alta tecnologia, em Campinas, São Paulo. Há um arranjo fecundo, interdisciplinar, favorecido pela concentração de universidades públicas – estaduais e federais – que cria um ambiente favorável para fixação de pesquisadores. Nota-se que o conhecimento avançou de geração para geração, contudo a significância era – até meados de 2022 – um tanto quanto suspensa. O visionário, que criou essa rede, catalisou o investimento da fundação de amparo (FAPESP) num momento em que o governo federal havia escolhido o projeto de um outro cientista estrelar, atuante nos Estados Unidos, para criar um instituto de excelência na periferia do Brasil. A resposta da fundação permitiu a aquisição de máquinas avançadas, consolidando uma infraestrutura de pesquisa comparável ao dos centros estrangeiros, gerando publicações de alto nível e direcionando alunos para a pesquisa do cérebro.

Apesar da estabilização como um “centro-na-periferia”, relatam problemas nas engrenagens de tradução. A primeira é das publicações, da ‘perda de sentido’ decorrente de um ‘produtivismo’ que lega pouco mais do que uma métrica quantitativa que simula a centralidade, boa para os *rankings* e para as grandes editoras, mas que pouco contribui com a ciência. O paper pode ser “A1”, mas seu impacto frequentemente é nulo fora da academia, embora continue

sendo uma exigência de acesso – sem papers em periódicos globais, sem financiamento – perpetuando a insularidade da produção científica.

O argumento da simulação da centralidade – característica do ‘duplo-interno’, do ‘centro-na-periferia’ – ressoa com a avaliação do veterano, de que alta fecundidade não resulta em simetria real. Outras engrenagens ‘quebradas’ são a da temporalidade dos trâmites, com o custo associado às importações, que prejudicam a competitividade da ciência nacional, desidratando a fecundidade e restringindo a aplicação, além da volatilidade do apoio que inviabiliza a manutenção dos equipamentos.

A aquisição de equipamentos é extremamente burocrática. Participar de um edital de aquisição é cansativo devido à quantidade de requisitos e justificativas necessárias. Para importar a burocracia é ainda maior. [...] Passa por um processo quase impossível [...] um buraco negro [...] Mesmo quando o dinheiro está na conta, a burocracia impede que usemos imediatamente. Entre a solicitação e a chegada do equipamento, pode levar um ano. (Entrevistado 2)

O que não pode acontecer é que haja um período de bonança de três, quatro ou cinco anos para depois tudo acabar [...] Sem isso, muitos equipamentos acabam ficando parados por falta de recursos para manutenção. (Entrevistado 5)

A Finep demorou quase dois anos para aprovar nosso projeto. No momento que ela aprovou, aprovou como orçamento de dois anos atrás. Não conseguimos comprar quase nada, porque os preços aumentaram enormemente, são coisas importadas, então tivemos que remanejar o dinheiro, tirar das bolsas, para poder comprar os equipamentos. (Entrevistado 6)

A publicação, para mim, perdeu o propósito. As editoras são mais inimigas do que amigas [...] no final das contas, estão atrás do dinheiro, mais do que, realmente, o desenvolvimento da ciência. [...] Principalmente as grandes. Inclusive, elas falam mal das pequenas, aquelas revistas ‘predatórias’, mas elas [as grandes] criaram essa situação. [...] Eu não tenho interesse nenhum de publicar. Eu tenho que publicar, porque senão meu relatório não é aprovado, porque tem que fazer. Mas eu não tenho mais aquele negócio de publicar dois cada mês. [...] não tem valor para mim [...] Acho que as pós-graduações [brasileiras] são arcaicas. [...] Parece que não conseguem sair da caixinha, como estão não são viáveis. [...] Então é realmente contraproducente. Mas eu enxergo um caminho, que é institucionalizar a ponte entre academia e indústria e estou me colocando como esse embaixador para a indústria nacional, apesar de ela estar mais interessada em coisas imediatas. [...] Achar que a gente colabora com os Estados Unidos, Europa e estamos iguais? Não somos iguais. Eles nunca nos viram de igual para igual, essa é a verdade, é dura, mas é a verdade. (Entrevistado 9)

Os depoimentos revelam que o grupo da Unicamp teve sucesso no aprofundamento cognitivo (a fecundidade); o conhecimento fluiu por gerações de pesquisadores, se especializou, atualizou e o suporte da FAPESP estabilizou uma ilha de excelência (centro-na-periferia).

Porém, a significância permaneceu bloqueada (não se afastou da norma) por um vazio ou descompasso dos arranjos produtivos e burocráticos, agravados por uma orientação para produção de artigos que compete pelo esforço que poderia ser colocado na construção de pontes com a indústria – igualmente problemática, que demonstra pouco interesse em soluções inovadoras. Frente à interrupção da dialética, os pesquisadores relatam preferência por visões alternativas. O visionário aposta na colaboração Sul-Sul, para galgar maior soberania tecnológica; os parceiros-docentes mais próximos dele flutuam entre a crítica ao *hype* e o ceticismo – os exageros do mercado, que confluem para a ideia de Interfaces como um periférico de consumo ou uma tábua de salvação –, com um deles de perfil mais ativista, em direção à extensão universitária.

Vejo pessoas como Elon Musk, um grande propagandista, falando em chips que vão acelerar a capacidade intelectual. Isso é bizarro, nem entendemos o cérebro. Se começarem a fazer experimentos, podem ter efeitos colaterais graves, não é possível prever. [...] Por exemplo, lembro do [megaevento], quando o professor [cientista estelar, que fez carreira no exterior], fez uma demonstração na abertura [...] achei muito errado, porque quando você trabalha com experimentos com humanos não pode botar esse tipo de agenda. Não é marketing, há pessoas. Não se pode condicionar o desenvolvimento com essas exposições. Isso acontece pois muitas vezes a pessoa quer atrair financiamento, fazer seu nome. [...] Isso é muito ruim para a ciência. [...] A universidade deveria priorizar a extensão ao invés de tentar subir em rankings, que é uma bobagem sem tamanho. Temos condições de saber quem somos sem precisar de aprovação externa. [...] Não precisamos dessa postura submissão de internacionalizar a qualquer custo [...] a postura colonizada me incomoda. [...] Nossa referência é Paulo Freire, a ideia de partir dos saberes para construir, não de um projeto de engenharia que visa apenas o lucro. (Entrevistado 1)

As coisas estão caminhando e muito rápido. [...] se a gente pudesse implantar eletrodos teríamos um sinal mais limpo. Talvez a gente tivesse chegado bem mais longe nesse momento se não houvesse essa limitação de não conseguir implantar. Mas, porque eu também não quero implantar. É meu cérebro. Para quer fazer uma cirurgia se a pessoa não precisa? Mas esse hype, é uma visão de futuro possível. [...] então supondo que o mundo não acabe em breve, devido ao aquecimento global e todas essas coisas [...] se a tecnologia continuar avançando nessa velocidade, eu acho que sim, que vai ser possível integrar o cérebro a coisas intermediárias. Tipo, você tinha aqueles Google Glass [...] É, mas não sei dizer em quanto tempo. (Entrevistado 6)

Nota-se um incômodo dos pesquisadores com a escolha valorativa alinhada aos critérios do centro – o que é paradoxal, já que a posição de ‘centro-na-periferia’ implica a simulação deles num grau elevado – e um discurso contestador, posicionando o pertencimento desejado (o que inclui as considerações sobre fecundidade) no lugar das demandas locais (escolas, movimentos sociais). Em outras palavras, há uma recusa difusa contra a identidade de “parceiro júnior do centro” (aquele que aceita a vassalagem vantajosa em troca da coautoria e acesso às redes

globais). Porém, a reivindicação vem de um lugar de confinamento, já que as agências de fomento fetichizam a validação externa, a neurose dos *rankings*.

Ao mesmo tempo, a estabilização da alta fecundidade na periferia não implica uma igualdade no tocante à escolha das rotas tecnológicas, se invasivas (implantes) ou não invasivas (EEG). A escolha ética de não perfurar o cérebro produz a consequência epistêmica de afastar a pesquisa local das possibilidades de aquisição de um sinal mais limpo. Aceita-se a imprecisão para proteger a integridade da pessoa e demarcar a diferença entre validação científica e demonstrações espetaculares, que, em tese, deveriam provocar o investimento privado e subordinam a avaliação científica à conquista do mercado.

8.3.2.2. Nó UFES/ES

Polo para a América Latina, internacionalizado, fortemente aplicado à reabilitação, atraindo pesquisadores de países vizinhos; apoio das instituições locais (FAPES e Prefeitura) viabilizaram os primeiros esforços, mas só tracionaram com o apoio federal.

É o nó mais antigo da pesquisa em Interfaces no Brasil. Não decorreu do planejamento da burocracia pública, mas da adaptação de um pesquisador com um currículo competitivo, formado fora na Europa, às condições restritivas de contorno – a crise econômica dos anos 90 e a solução liberal. As condições iniciais de estabilização da agenda vieram do apoio local (da prefeitura, da fundação estadual de amparo) e colaboração internacional, o apoio federal veio depois, já nos anos 2000, quando resultados concretos alcançaram a mídia nacional.

Não foi nada fácil... naquela época era difícil e quem apoiou primeiro foi a prefeitura. O dinheiro era pequeno, mas apoiou. Aí depois, com a questão da mídia, a questão política, usavam isso como propaganda, ‘estamos apoiando a ciência, veja esse dispositivo de ajuda, saiu na mídia e tudo mais’, aquilo ali tinha interesse do governo do estado em apoiar. [...] eu tinha uma cooperação com meu orientado, aí consegui aprovar um projeto financiado [com dinheiro europeu]. Foi um projeto que deu amplitude [...] Isso começou a tomar uma dimensão grande. Aí comecei a fazer parte de uma rede internacional, de tecnologia assistiva. [O apoio federal] só em 2006. [...] consegui apoio de outras agências, inclusive de outros países [...] começou a ter projetos específicos, como telecomunicação assistiva. Inclusive, um dos projetos, antes da CAPES, apoiado pela Finep, foi grande. E aí, com o passar do tempo, em 2010, foi a [cadeira de rodas] da Finep com o apoio do órgão municipal. (Entrevistado 8)

A estratégia de inserção do grupo tem uma orientação para o barateamento das soluções. Os pesquisadores conhecem o estado da arte, capaz de entregar um sinal de melhor qualidade, contudo reconhecem que é caro, o SUS dificilmente conseguiria absorvê-lo. A restrição financeira baliza a escolha pela tecnologia, a opção é pela solução mais barata, que onere pouco

o sistema de saúde público, ao mesmo tempo aceita-se o desafio epistêmico associado. O sinal da Interface mais barata é mais ruidoso, o que exige adaptações que assegurem a funcionalidade esperada pelo paciente na ponta. A ética do cuidado e o horizonte moral de inclusão da população pobre, ressignifica a incerteza do sinal como uma condição a ser contornada de forma criativa. A importação de equipamentos não é um ato passivo, exige desenvolvimento interno. No passado, o grupo teve esforços de desenvolvimento de placas, mas a lição amarga da experiência é a de que vale mais a pena comprar – não por incompetência técnica, mas por um cálculo pragmático. O desenvolvimento autônomo levaria um tempo que desviaria os pós-graduandos do objetivo principal, de produzir o efeito assistivo das Interfaces na vida dos pacientes (autonomia inclusiva).

Nós não nos atrevemos a comprar um equipamento caro, entendeu? A gente tem aplicação no SUS, somos parceiros do SUS, não dá para fazer um G.tec [fornecedor europeu de toucas EEG], porque o SUS não vai pagar 5 mil euros num sistema de captura de sinais cerebrais, mas ele pode pagar mil dólares, 5 mil reais. A gente monta, tem parente, tem parentes que usam nossa parente e isso é capacidade de desenvolvimento. Mas precisamos colocar isso na balança, vou vender isso? Não vou, a maior parte dos elementos são importados, o custo é alto, fica muito caro. Então, eu sei fazer, mas se eu comprar de uma empresa com um preço que não está ruim... para ser mais rápida a pesquisa, vamos usar o que está no mercado. [...] a gente precisa de alguma rapidez dos desenvolvimentos, não fazemos uma tese onde se faz um placa [...] Então, você vai perder um ano para fazer um equipamento para usar numa tese? Por que não comprar para fazer ciência? Tudo é questão de bom senso. [...] comprando, vai acelerar a pesquisa. (Entrevistado 8)

O relato mostra que, dentro do sistema de pós-graduação, onde a pesquisa ocorre, faz pouco sentido o desenvolvimento de uma solução de hardware já disponível. Soluções de “acesso B”, desde que abertas, são suficientes para a pesquisa. Espera-se do doutorando o domínio necessário para a adequação, não a criação ou replicação de um dispositivo que já existe no mercado. A placa é parte do trabalho, não o trabalho em si. Dito isso, a temporalidade da pesquisa de excelência ressignifica o desejo de soberania tecnológica, o polo da fecundidade (conhecimento) é mais valorizado que a tradução soberana num dispositivo nacional. Esse achado lança luz sobre o duplo interno, o “centro-na-periferia”, há fecundidade, talentos, soluções focadas em inclusão, mas o mercado está fora de alcance. O grupo de pesquisa está paralisado no tocante à translação e a dialética se prova parcialmente reatada.

Eu já tentei quando mais jovem, tentar ver se eles [investidores] tinham interesse em comercializar, fizemos reuniões e tal, mas é muito difícil, porque como professor produtivo temos muitas atribuições, tem orientação, artigo, aula, pesquisa, prova, graduação, pós-graduação, burocracia e ainda tem que procurar empresário? Ninguém dá conta. [...] A universidade faz coisa bonita e tal, mas não chega na sociedade. [...] O professor não pode abrir uma

empresa e usar o conhecimento que adquiriu no laboratório dele para vender, não é ético, a universidade não é isso. (Entrevistado 8)

A diferenciação entre ‘centro-na-periferia’ e ‘periferia-na-periferia’ não contrapõe a excelência. Os pesquisadores vindos das margens são frequentemente dedicados, criativos e produtivos, o que muda é o grau de mobilidade epistêmica e restrição material – o engajamento com o conhecimento no estado da arte. Parte do sucesso do grupo da UFES se deve ao fluxo de estrangeiros, os talentos cultivados pelas dificuldades. Há uma característica comum a esses talentos: a abordagem integrada e persistente para os desafios – não à toa os “centros” os recrutam ativamente. O pesquisador da periferia assimila por conta própria o choque da transdisciplinaridade:

Eu trabalhei 8 anos com hardware. E outras experiências, mas fazendo hardware. Sofrendo e fazendo. Então, foi mais fácil para mim depois, trabalhar com um sinal de qualidade. [...] Para mim é mais tranquilo, porque eu entendo, são coisas que eu aprendi, uma base tremenda que ajuda bastante. [...] alguém que vai se aventurar no mundo das interfaces precisa se aprofundar sobre o cérebro [...] eu olhava para isso e falava ‘como é que vou aplicar a técnica de processamento em tantos sinais juntos?’. [...] num cérebro, você não sabe o que tem. [...] É sempre uma aventura, um tema muito novo e eu precisei ler muito. (Entrevistado 7)

Tudo começou porque eu queria juntar a engenharia com a medicina [...] a gente começou do zero, não tinha nada, nem cadeira de rodas. [...] Nunca cheguei a terminar o projeto, não tinha os recursos. [...] Eu já tinha essa experiência com hardware, como te falei, sou formada em eletrônica. Então, tipo, seis, sete anos trabalhando com hardware. [...] tem uma base de processamento comum, mas tem umas coisas bem técnicas, específicas, que são próprias desse tipo de processamento [sinais cerebrais] E foi por isso que tomei a decisão de começar a parte de software. (Entrevistado 11)

Eu estava querendo uma área complementar, criar sistemas híbridos, para compreender fenômenos fisiológicos que acontecem entre o cérebro e os músculos, usando sinais de EEG e EMG (eletromiografia). Essa foi a minha principal intenção para mudar, porque tenho um conhecimento muito bom em ICC, mas na parte de neuromuscular, entre outras coisas, tinha um buraco no meu conhecimento. (Entrevista 12)

No laboratório, trata-se de um diferencial tácito, necessário para a criação nas fronteiras do conhecimento. A interrupção da dialética não neutraliza a agência individual, por vezes força os pesquisadores a preencher, de modo artesanal, os vazios nos arranjos pela construção de soluções e agendas próprias, um autodidatismo. No “centro” a especialização é a regra (o cientista de dados, o engenheiro, o neurocientista), na periferia o pesquisador incorpora conhecimento básico de hardware, código, clínica e neurociências para a prototipação, adquire na tentativa e erro a habilidade de escovar bits, soldar, ler o sinal e integrar os sistemas. Num cenário de abundância não há razões, nem incentivos, para um domínio transversal, mas a

hibridização da identidade acadêmica pode contribuir para a inserção e impulsionar a formação de um centro-na-periferia – caso esse da UFES.

8.2.2.3. *Nó ISD-UFRN/RN*

Infraestrutura especializada alocada na periferia brasileira orientada para a comunidade local; capital humano circula, mas baixa sinergia estratégica entre instituições locais; ambiente de maior escassez (fundação estadual com baixa capacidade de investimento); dificuldades com os custos regulatórios.

Diferentemente dos polos no sudeste, o cluster potiguar (ISD) foi criado para forjar a translação clínica e a extensão em saúde para a comunidade local. A criação do Instituto teve implicações regionais importantes, ora duplicações, com disputas entre fundador e pupilo (dois institutos do cérebro), ora sinergias (circulação de pesquisadores, fixação de talentos). A análise dos relatos revela limitações da estabilização dessa rede, que se choca contra as barreiras regulatórias, a falta de apoio ao empreendedorismo inovador e a fragilidade econômica da região, na qual a fundação de amparo estadual é pouco atuante.

Como é sabido, o fundador-veterano do ISD atua fora do Brasil, nos EUA, por essa razão não foi convidada a participar dessa pesquisa. Os pesquisadores que responderam são todos jovens. Na época das entrevistas, todos com menos de 10 anos de docência. Dois deles possuem o perfil dos “veteranos”, fizeram seus doutorados na Europa, com lideranças nas suas áreas de estudo, um deles voltou a convite (ISD), o outro pela via tradicional, do concurso público (UFRN).⁷⁴ O segundo possui uma orientação de pesquisa básica, utilizou as ICCs como um

⁷⁴ Frente às polêmicas do passado, envolvendo a rivalidade entre os “institutos do cérebro”, durante as entrevistas evitou-se explorar temas que pudessem provocar uma indisposição. Cabe destacar que a abertura levou tempo e que uma figura importante não respondeu. A reflexão sobre o passado parece ser um tema interdito. Outro pesquisador, Rodrigo Saraiva Cheida (2017), que na sua tese pesquisou a formação da comunidade de neurocientistas, relatou a mesma dificuldade. Apesar de ele ter conseguido falar com o dirigente, houve vetos importantes. Cheida não pode gravar a entrevista e relata que, na época, o “veterano-fundador” exercia sobre o instituto um forte controle. Na sua pesquisa, depoimentos de neurocientistas prestigiados criticavam a postura do fundador, o “efeito Pedro Álvares Cabral” – como se o veterano tivesse fundado a neurociência no Brasil (Ibid., p.220). Ao mesmo tempo, a reação manifesta um ressentimento das conexões, a linha direta do fundador com o poder político em Brasília, através da qual ele conseguiu contornar o sistema tradicional de editais e avaliação por pares. Nesse aspecto, o presente estudo não pode se eximir da crítica. Primeiro, ele não tinha pretensão de “polemizar”. Oroteiro de questões foi enviado no primeiro contato e versavam sobre a trajetória pessoal em relação às Interfaces Cérebro-Computador. A recusa do dirigente, à luz dos resultados de Cheida, revelam um comportamento reativo. O silêncio não dissolverá a rejeição inicial da comunidade científica, até porque foi um fato consumado, já aconteceu, mas condiciona o modo como o ISD será visto por observadores externos que pouco ou nada têm a ver com tais controvérsias. A ciência floresce num ambiente de mútuo respeito entre áreas. A ideia de que pesquisas em humanidades são anedóticas, revelam uma disposição prejudicial ao controle democrático – afinal, trata-se de investimentos públicos. O padrão de esquiva precisa ser superado pelo ISD. Há coisas mais importantes do que os fantasmas do passado.

instrumento de pesquisa básica; o primeiro mais prática, para reabilitação, o domínio das Interfaces aplicadas à saúde.

O professor da federal, relatou ancorar seu interesse no mistério da neurociência, se distanciando da identidade do engenheiro para mergulhar na incerteza ontológica que a pesquisa computacional sobre o cérebro envolve. Contudo, dadas as dificuldades de captação de recursos e as assimetrias regionais, avaliava mudar de horizonte de pesquisa, para uma agenda de “software puro”, de algoritmos que imitem a biologia do cérebro, amparado em dados públicos. A entrevista com um egresso da UFRN, na época docente da universidade, mas que foi para o instituto vizinho, aponta que a estratégia de inserção da federal envolvia a ancoragem da fecundidade no desenvolvimento de software. Lá as condições de contorno parecem ser mais restritivas que no ISD e a tática de inserção envolve o uso dos dados que o norte global gera e compartilha, reiterando a identidade de uma pesquisa nacional com o status de “parceiro júnior”, epistemologicamente avançada, mas dependente.

Hoje eu estou aqui na UFRN, que tem crescido em relevância, mas não está no nível das estaduais paulistas ou federais mineiras, em alguns nichos sim, mas de forma geral não. E, por sua vez, a USP e a Unicamp não estão no mesmo nível de uma Harvard e Caltech, a comparação é sempre injusta, porque não existe uma consciência clara dos critérios. [...] Eu não me identifico como alguém que queira criar a melhor interface cérebro-máquina. [...] Progressivamente eu tenho mudado de horizonte de pesquisa. Eu estava num grupo que tinha Interface como uma linha muito forte, mas onde estou agora, as linhas tocam apenas em aspectos. Fazer pesquisa em Interface Cérebro-Máquina é caro, demanda recursos, e tem sido difícil captar. Se eu fosse seguir nessa linha, teria que mudar de país ou me associar a algum outro grupo. [...] Eu tenho curiosidade sobre a construção de redes neurais artificiais que incorporam mecanismos neurais para torná-las mais capazes de processar informação do que redes clássicas. [...] precisamos nos beneficiar dos dados públicos disponibilizados, dos experimentos feitos, em vez de querer desenvolver nosso próprio laboratório e coletar esses dados. Primeiro porque os dados são abundantes e segundo porque é mais barato. (Entrevistado 3)

Precisamos pagar quase dez vezes o valor original para importar equipamentos. Não conheço alternativas nacionais. [...] A falta de financiamento é um grande obstáculo, a nossa infraestrutura é limitada e muitos recursos vêm de financiamento próprio. [...] Uma coisa que vemos no nosso grupo de pesquisa é que utilizamos o processamento de sinais ou processamento de ondas para criar aplicações com foco em avançar o estado da arte de machine learning para interfaces cérebro-computador. Isso é algo que percebo mais em nível internacional do que nacional. (Entrevistado 4)

O pesquisador do ISD, por sua vez, não só atua na reabilitação, como tem tentado empreender, utilizando o conhecimento adquirido para chegar a uma solução real, contudo o esforço exigido para entrar no mercado é homérico – manifestação da interrupção da dialética.

Nós começamos a publicar os resultados na nossa pesquisa e vimos que pessoas ficaram interessadas em comprar a solução. [...] eu tenho um startup que trabalha como interface cérebro-máquina para reabilitação de pacientes com AVC [...] não invasiva [...] nós produzimos tudo e inclusive nós não conseguimos vender hoje porque precisamos da autorização da ANVISA e nós não temos essa autorização. [...] Para reabilitação eu vejo um potencial muito grande, mas é um desafio entrar no mercado, não está fácil. Tem barreiras regulatórias que nos impedem e custa muito caro, só para regulamentar [...] de 600 mil a 1 milhão só para validar, certificar. [...] Eu não vejo também interesse do mercado nesse momento. [...] essa startup, demanda muito tempo, até consegui uma conversa e quando eles escutam as barreiras regulatórias eles falam ‘enquanto você não conseguir o recursos para aprovar isso, vai ser difícil encontrar investidor que queria apostar esse dinheiro e seguir com o projeto. [...] Você nunca vê um edital que serve especificamente para isso [certificação]. [...] Tenho conversado com alguns [investidores anjo], já algum tempo, mas não deu certo com nenhum deles [...] tem alguns que entendem que é um processo de longo prazo e tem interesse, mas você tem que ceder um *equity* [participação societária] da sua startup em troca dos recursos e, dependendo do momento que você está, isso pode matar todo o projeto. [...] E para encontrar alguém que queira assumir um risco tão grande não é normal. No Brasil é assim, ‘quanto você fatura?’, se você fatura x por mês você consegue uma quantidade y. Como não faturou, nem abrem conversa, a maioria deles. (Entrevistado 10)

Apesar das dificuldades na tradução para o mercado, a fecundidade é alta, o pesquisador precisa dominar conceitos a ponto de aplicá-los no contexto de falta dos insumos padrão. O jovem estrelar, formado na Europa, num centro de classe global, contorna a ausência de uma indústria local através da “gambiarra” para prototipar e demonstrar competência prática, uma bricolagem de alto nível que atua como um mecanismo de estabilização.

[...] você precisa ter, para fazer uma prótese funcionar, um super motor linear que não se fabrica aqui [...] Você não tem esse recurso para comprar... o brasileiro usa um motor de ventilador, ou então, sei lá, uma paleta de limpador de para-brisa, que funciona por muitos anos sem quebrar, que faz o movimento de ir e voltar [...] faz uma gambiarra e o negócio funciona. (Entrevistado 10)

O impacto do ISD na comunidade local é relevante, Macaíba é um contexto de altíssima vulnerabilidade socioeconômica e a tentativa de estabilizar um centro-na-periferia é, sem sombra de dúvidas, louvável – exige um esforço contínuo fazer uma instituição ligando fecundidade (ciência de ponta) e significância (atendimento à comunidade, criação de startups). A prática confronta os pesquisadores no gargalo de infraestrutura, que impacta na relevância potencial dos experimentos – decorrente da aplicação de critérios de acesso característicos do centro – e exige estratégias de inserção via nichos de menor complexidade tecnológica – abandonar a neuroimagem profunda em favor de uma interface de superfície. Outro aspecto importante é a significância imediata do Instituto para os usuários do SUS que necessitam de cuidados de terapia, através da formulação de protocolos que sejam adequados à realidade local,

de modo a viabilizar os ensaios clínicos que alimentam a produção científica e viabilizam os primeiros passos da inovação em saúde (as startups).

Agora o que estamos contribuindo aqui no Instituto, todo sistema está orientado para dar o exercício físico, desde o início da terapia [...] a pessoa já entra no *lokomat* (exoesqueleto) para treinar, a pessoa... um tetra ou paraplégico, passa dois minutos caminhando sem fazer imagética motora, mais outro dois minutos fazendo imagética [...] para treinar um sistema contínuo, que combine imagética e movimento em cerca de 17 minutos. Ou seja, a pessoa [usuário do SUS] quase não perde tempo. (Entrevistado 7)

Aqui, Natal, tem uma ressonância magnética funcional de um Tesla e meio. Onde eu estudavam que era uma cidade de 84 mil habitantes, tinha três ressonâncias de 3 telas e uma de 7 telas. [...] eu não consigo fazer experimentos que envolvem ressonâncias magnéticas funcionais, é impraticável. (Entrevistado 10)

Ou seja, nesse caso a estabilização de um centro-na-periferia exige que a excelência seja adaptada à escassez e uma priorização da inserção da tecnologia na rotina clínica, para promover a autonomia inclusiva – diferenciando o trabalho realizado, inclusive, de outras regiões do Brasil com melhores condições socioeconômicas.

Aqui [a fundação de amparo] não funciona, não tem financiamento para pesquisa, o cenário é pior, mas nós estamos conseguindo, mesmo com essa adversidade, avançar a partir do próprio financiamento do instituto. (Entrevistado 7)

Como a gente também tem uma área de atendimento de pacientes que envolve pesquisa, então se eu faço uma órtese os pacientes podem utilizar como pesquisa. Mas essa é uma realidade que não é vista no país. (Entrevistado 10)

Nesse sentido, a estabilização manifesta uma ética de cuidado que integra bancada e clínica, reatando – mesmo que precariamente – a dialética entre fecundidade e significância, se afastando da norma da interrupção, mas sem romper com ela – dada a ausência de um fomento local e um muro regulatório alto.

8.4. Discussão dos resultados - a dialética dos valores na prática

A seção anterior analisou, de modo diacrônico, como o campo se constituiu no Brasil, as trajetórias, grupos, assimetrias. Agora, a análise extrai os mecanismos de coprodução que atravessam o campo, com foco no padrão de transmutação da interrupção e a operação da dialética dos valores manifestada nas entrevistas.

8.4.1. *A clivagem móvel – e nem sempre óbvia – entre ‘centro-na-periferia’ e ‘periferia-na-periferia’*

Como já vimos, os veteranos não relatam crises de vocação pessoal. Em um dos casos, o relato de um veterano, que não está associado a nenhum dos grupos-nós identificados, docente de uma federal tradicionalíssima do Rio de Janeiro, que sempre esteve entre as primeiras nos *rankings* nacionais e muito participativo de bancas em Interfaces, evidencia como as fronteiras entre ‘centro-na-periferia’ e ‘periferia-na-periferia’ são móveis. Ele relata ter o dinheiro para comprar os eletrodos, inclusive de fornecedores caros, contudo a ausência de pós-graduandos interessados e a burocracia para importação onerosa têm imobilizado sua agenda de pesquisa no tema. Uma universidade conhecida por ser um “centro regional”, na dinâmica interna do campo está imobilizada epistemologicamente. Não há redundância para repor os talentos e, com efeito, a interrupção da dialética se aprofunda quando a capacidade de segurar talentos se dissipa, isso coloca um peso no veterano que, frente à situação, tem se conscientizado da necessidade de buscar talentos externos – da ‘periferia-na-periferia’.

No caso das interfaces eu tenho tido dificuldade, porque meu aluno de doutorado que terminou esse trabalho [finalista de uma competição internacional da austríaca G.tec] defendeu em 2018. Eu não consegui arranjar um aluno de engenharia, como perfil, para fazer esse trabalho e continuar. [...] Então, essa pesquisa, ela acabou ficando um pouco de lado, porque eu não tenho alunos para tocar adiante. [...] Esse ano, agora, para biomédica [...] acho que tinha 15 candidatos. Sete passaram. Então, está entrando pouca gente. [...] Eu tenho um colega, equatoriano, ele tem um convênio com um ex-aluno dele, que é de uma universidade lá do Equador e todo ano vem um, dois ou três alunos de doutorado. Isso é muito bom. É uma reserva de mercado. [...] Enfim, eu estou precisando de uma coisa dessas, atrair alunos, participar dessas redes. [...] Eu acho que é um pouco informal essas coisas. [...] Eles olham para o Brasil como uma possibilidade, porque as condições aqui de pesquisa são melhores. [...] Eu tenho projeto [financiado pela fundação estadual] com algo como 160 mil reais, que ainda não gastei. Então, se quisessem fazer doutorado comigo, eu tenho recursos, eu tenho condições. (Entrevistado 13)

A erosão do capital humano talvez seja o fator mais crítico porque atinge, fundamentalmente, a fecundidade dos grupos. A posição de um veterano numa Universidade de perfil superior desliza para a dinâmica periferia-na-periferia, marcada pelo desinteresse na carreira acadêmica, asfixiando a agenda de um pesquisador produtivo. O prestígio de um *ranking* não é suficiente para blindar a reprodução social. Ao mesmo tempo, há dinâmicas internas ao campo, de disputa (preferência pela engenharia elétrica do que a biomédica), que contribuem para esse cenário – algo que um outro interlocutor também relatou.

Como está organizada a ciência no Brasil? Nas engenharias IV, a primeira que foi criada, obviamente, é a elétrica, a engenharia biomédica é como uma filha e dentro dela há especialidades. Eu acho que deveria ter uma maior priorização da biomédica, a parte de instrumentalização, potência, telemedicina, computação e robótica. [...] O nosso programa é o único de neuroengenharia, mas não tem prioridade. [...] Agora, quando vão repartir os recursos entre as áreas, essa estrutura deixa a neuroengenharia ofuscada. [...] O pessoal da engenharia que algoritmo, simulação. Nós combinados as duas coisas, mas eles não veem isso com bons olhos e por consequência você não termina a pesquisa. (Entrevistado 7)

[...] tem um agravante, é mais fácil um aluno que fez graduação em elétrica querer fazer um mestrado em elétrica... eles vão seguir nessa área. [...] A engenharia biomédica sempre foi considerada uma área afim. No CNPq... é o mesmo comitê. Agora, alunos que são ex-alunos de alunos meus preferem ir para a elétrica porque é onde os concursos têm saído, ponto. (Entrevistado 13)

Há uma hierarquia própria ao campo das engenharias no Brasil que parece – os resultados das entrevistas não são suficientes para confirmar – uma cegueira para as especificidades da pesquisa biomédica e que envolve, fundamentalmente, aplicação clínica. Os critérios de avaliação aparentemente não são sensíveis para o tipo de identidade híbrida (o bioengenheiro) que emerge das pesquisas com Interfaces e neuroengenharia. A consequência sistêmica disso, na ponta, nos colegiados onde as decisões são tomadas, é a marginalização do perfil biomédico nos editais, contribuindo – mas não causando – à perda de tração relatada pelo interlocutor, já que do ponto de vista da carreira faz pouco sentido para um aspirante à docência e pesquisa apostar numa subárea na qual as restrições são maiores.

8.4.2. Os dilemas do uso de IA

O uso da IA sem conhecimento de base contribui para a assimetria centro-periferia, combinando-a ao ‘empobrecimento algorítmico’. Os resultados são avaliados do ponto de vista utilitário, da funcionalidade, o que corrói o nível dos trabalhos, substituindo a teoria pela operação de uma plataforma estrangeira, que importa a gramática fechada para a resolução de problemas científicos. A entrada no jogo das publicações (que é rápido, exige números e não premia o trabalho artesanal) tende a estimular uso dessas ‘caixas-pretas’ e o pesquisador, nesse cenário, se torna um anotador, rebaixando o trabalho de pós-graduação à parametrização de uma solução controlada por uma plataforma ou um modelo pré-treinado.

Eu vou ser sincero, por preconceito meu, adiei por certa de 20 anos a minha entrada nesse tema. Por quê? Eu sou uma pessoa lógica, cartesiana [...] a rede neural é usada para classificação, mas falta uma base formal. [...] Essa nova geração tem uma certa preguiça de entender o problema que se apresenta, estão empíricas em excesso, relutam identificar os mecanismos ocultos. [...] Eu tenho mais de 30 anos como professor, para mim era nítido, quando eu olhava para um trabalho, identificar o nível. Agora, a pessoa pega uma rede

que ela não desenvolveu, não treinou, adapta aquilo, usando alguma coisa da internet e ela tem uma saída. É um trabalho de graduação? Mestrado? Doutorado? Não sei. Tudo para mim ficou no mesmo nível de complexidade. O importante é o resultado. Então, estou nesse dilema. (Entrevistado 13)

Há um choque entre a temporalidade que um ciclo de trabalho acadêmico exige e a aceleração tecnológica protagonizada pelas plataformas. A identidade do jovem pesquisador é distinta da dos veteranos. Os algoritmos comerciais e pré-treinados são onipresentes e a captura institucional pelas plataformas é praticamente incontornável, onde as *Big Techs* renovam o estado da arte em apenas alguns meses. Mesmo quando o pesquisador sabe como os modelos funcionam por detrás, ele não escapa da captura, resultando no efeito de uma academia que a longo prazo cede em compreensão para ganhar resultados e não se tornar obsoleta.

Veteranos e jovens habitam a mesma estrutura dependente, mas a interrupção vivida é distinta. Os primeiros se formaram num ambiente em que o domínio dos fundamentos era incontornável, sem o qual não era possível atuar sobre a mecânica e forma dos sinais cerebrais, porém as aplicações práticas desse conhecimento não ‘escalaram’. Os artigos decorrentes demonstravam domínio do ‘estado da arte’, provas de uma fecundidade comparável ao dos centros (norte global), mas ao se tornarem um fim em si mesmo esvaziaram a pesquisa de seu propósito prático. Apesar do domínio teórico e das prototipações pontuais, pouco ou nada chegou ao mercado e aos pacientes.

Os jovens, por sua vez, estão adaptados à velocidade transformadora das novas tecnologias e dispostos a ceder em compreensão causal em prol da utilidade; o avanço ensejado está na aplicação e o tipo de comunicação, via artigo científico, se desloca para a dimensão empírica, do que foi feito, realizado e como. A escolha técnica provoca menos escrutínio que no passado, importa mais o alcance e funcionalidade da aplicação; o conhecimento fisiológico é buscado, mas em menor profundidade. O risco disso é que a pesquisa sobre o cérebro, sendo caracterizada pela incerteza ontológica – o mistério sobre o que se passa na atividade neural –, quando acerta na intencionalidade pela via de mecanismo opaco (IA), coproduz um pesquisador-operador. O resultado pode ser suficiente, mas a explicabilidade não.

Além disso, intervir em algo que se compreende pouco pode desencadear colaterais silenciosos, uma ‘neuroplasticidade má adaptada’, levando ou agravando problemas – é quimérico mitigar um risco que se desconhece. Ao mesmo tempo, são essas ‘caixas-pretas’ que têm levado à superação da estagnação que caracterizou o desempenho das interfaces não invasivas. Sem a força bruta do *machine learning*, o sinal ruidoso e barato do EEG (solução

preferida pelos pesquisadores brasileiros) não sairia do lugar, impossibilitando qualquer ganho de autonomia pelas pessoas mais interessadas na inovação, os pacientes. Ganha-se em significância potencial, perde-se na profundidade da fecundidade, a qual os motores lógicos pertencem a uma plataforma estrangeira.

8.4.3. O SUS como condição de contorno e promessa

A coprodução opera numa dupla direção. Por um lado, a decisão técnica de construir sistemas de menor custo coproduz a consequência social de democratizar a tecnologia para futura absorção pelo SUS; a condição social de restrição orçamentária determina a escolha técnica de sacrificar a resolução ideal do sinal. O pesquisador renuncia à fecundidade cognitiva de ‘padrão global’ (um sinal que tem o custo de 5 mil euros) para tentar garantir significância social (o paciente vulnerável incluído). Opera ainda um deslizamento narrativo: a restrição imposta pela dependência é rearticulada como uma ética de cuidado (autonomia inclusiva). O equipamento "menos avançado" é revalorizado como "o mais adequado" porque atende ao horizonte ético do pesquisador, que associa a opção pelo EEG com a nobreza de não invadir o cérebro. Porém, a rota invasiva não seria, de qualquer jeito, viável – a virtude dos centros-na-periferia nasce da restrição de base, particularmente a infraestrutura hospitalar cara e as resistências, justificadas, dos comitês de ética para a aprovação de experimentos dessa natureza.

O destino imaginado implica considerações sobre se o custo cabe ou não no orçamento da saúde pública, o que passa pela decisão por uma tecnologia de menor resolução. Contudo, a resolução menor não é uma falta, ela é justificada à luz da significância potencial, a possibilidade de ancorar a tecnologia na sociedade, inclusive comunidades excluídas do acesso a serviços básicos de saúde, como diagnóstico.

O EEG, comparado com a ressonância é muito barato. Esse aparelho que eu comprei é 30 mil reais [...] Eu posso pegar um menor, o preço fica razoável. Então, você ter um aparelho de eletroencefalograma e um estimulador, não é uma coisa tão cara. E você consegue ter um exame que avalia o grau de comprometimento do seu sistema visual. Ou seja, você está levando o diagnóstico. [...] a medicina mais precisa [...] não é factível para grande parte da população. Não é viável. Factível é, mas não é viável economicamente. Se você for pensar em viabilidade, o que seria mais viável? Uma máquina que pode atender pouquíssimas pessoas ou você ter uma difusão de uma tecnologia que pode realmente chegar até as pessoas? Imagina, até num rincão. No Brasil, você pode até conseguir um aparelho com pilha, sei lá, numa aldeia, você pode fazer esse exame e orientar o tratamento. (Entrevistado 13)

Nota-se que o imaginário emergente é compensatório. O “aparelho a pilha” compensa o fato dos recursos do laboratório periférico serem comparativamente menores ao do centro pelo

desejo de impacto profundo (significância). A visão dobra a aposta, já que localmente não há as cadeias produtivas para entregar esse aparelho à “aldeia” ou “rincão”. De um lado é produtiva, porque supera o discurso reativo da falta, de outro máscara o histórico de dependência estrutural.

8.4.4. O treinamento como janela terapêutica

A condição biológica – respirar, piscar, movimentar etc. – implica que a técnica (EEG) é suscetível, que o usuário precisa ser disciplinado e o ambiente controlado para que a Interface funcione. O entorno (motores, rede elétrica, telefonia móvel) também produz ruído, o que exige técnicas de filtragem de modo a otimizar o trato das informações úteis. Na prática, qualquer coisa interfere na captura dos sinais e, por consequência, dificulta o controle fora do laboratório. Há um atraso entre a captura e tradução, além das limitações de resolução dos eletrodos; os sinais são registrados como ondas, padrões superficiais, não como *spikes* de neurônios específicos; boa parte da informação se dissipa pelas camadas de tecidos (principalmente o crânio), o que inviabiliza aplicações mais complexas. Ou seja, a usabilidade de uma experiência espontânea está distante da realidade prática. Por sua vez, depois dos filtros, os algoritmos precisam extrair do caos a intenção subjacente e predizer, com alguma confiança, quais são os padrões com as melhores chances de correlação com uma ação, de modo a viabilizar a comunicação humano-máquina – geralmente por *machine learning* (IA). Por parte do usuário, isso exige treinamento, de modo a forjar a musculatura de ativações inteligíveis pela Interface.

No plano material, o ruído mina a aplicabilidade da competência científica, mas, ainda assim, é um mecanismo terapêutico aceitável. Mesmo que a máquina demore, o esforço mental do paciente possui um valor intrínseco para a reabilitação. A dificuldade é ressignificada sob a luz da estimulação da neuroplasticidade – o treinamento, a tentativa e erro, recruta as redes neurais e pode produzir um efeito reparador. O ruído cede espaço para esforço invisível das sinapses tentando mover o cursor na tela ou controlar uma cadeira de rodas. A dificuldade de resolução, que é o território comum do campo das Interfaces não invasivas, desliza de uma limitação de engenharia para a temporalidade em que o paciente manifesta autonomia, mesmo que precária. Entretanto, a partir de um dado limiar, a ineficiência da máquina produz frustração, quando não reforça uma má-adaptação.

E se a gente intervir de forma equivocada pode causar um mal para pessoa que já tem um mal. Por exemplo, eu sempre me pergunto, ‘quantas publicações foram aplicadas em pacientes?’, ‘quantas delas deram certo?’, ‘quantas não deram certo?’. Muitas não deram certo, mas o que aconteceu? Se reforçou o

problema [de um padrão desajustado] ninguém fala. [...] Um dia eu participei de uma revisão de um ensaio clínico, pedimos para correlacionar a variável com o desempenho da BCI e a correlação foi baixa. [...] as vezes os resultados com a BCI pode ser da própria BCI, mas não necessariamente. Porque se supõe que o cérebro tem neuroplasticidade a todo tempo, mas isso não é necessariamente um ganho. (Entrevistado 7)

O trabalho que o desejo por autonomia envolve pode provocar a exaustão. A calibração da maioria dos sistemas publicados leva horas, impactando negativamente o engajamento da maioria dos voluntários e seus cuidadores, que esperam protocolos mistos, com métodos convencionais incluídos (como fisioterapia, necessária para a saúde do corpo). Uma calibração passiva de horas resulta num cenário em que a autonomia (o controle de um exoesqueleto, cadeira de rodas, cursor) não é vivida pelo usuário. Isso implica que há uma limitação na janela de treinamento tolerável e nem sempre o treinamento vence o ruído. Há casos de usuários que não geram um sinal legível em razão das limitações das Interfaces e protocolos, não por um déficit de esforço. Qualquer um está sujeito ao cansaço e desinteresse, o desafio tem sido investigar as dificuldades sem responsabilizar o usuário, de modo a impedir que o design da Interface marginalize o fracasso de uma pessoa vulnerável como inaptidão ou iliteracia.

8.4.5. A gambiarra como demonstração de excelência

Veteranos e jovens que arriscaram iniciativas empreendedoras relatam o choque entre criatividade e precariedade das condições. A tradução nas fronteiras do conhecimento, como nos casos das ICCs, sempre implica dificuldade, esforço e fracassos constantes – independente se no ‘centro’ ou na ‘periferia’, a resistência da estabilização é inerente à engenharia. A diferença está na capacidade de ressignificá-la em oportunidade, amortecer as barreiras de entrada, tolerar o risco, assumir a liderança. Nesse aspecto, a dicotomia é clara, a periferia é o contexto de restrição, o centro o da ousadia. Isso não significa que a criatividade seja na periferia uma disposição ou pulsão menor, frequentemente não é, apesar do ônus do risco ser grande e exigir dos pesquisadores o estreitamento de suas pretensões para nichos nos quais os custos materiais são relativamente menores, onde a adaptação de tecnologias existentes pode ser explorada com alguma autonomia. O duplo interno de ‘centro-na-periferia’ demonstra uma alta capacidade de pesquisa na bancada (e prototipação), uma fecundidade que beira a significância, mas não se traduz. Os grupos de excelência ‘sabem fazer’, fixaram talentos lapidados na adversidade e familiarizados com as ‘melhores condições’, as do ‘centro’ (norte global), entretanto são impotentes frente à fragilidade dos arranjos produtivos locais (dependência). A sonhada significância (chegar aos pacientes e mercado) precisa ser deslocada para um futuro no qual uma força externa complete o arranjo, elegendo a agenda (no caso as

Interfaces) como prioritária, pondo um fim à inércia (geralmente o Estado), para que a padronização (que se espera de uma manufatura moderna) possa emergir.

A gambiarra, o uso de um ‘motor de ventilador’ ou ‘para-brisa’ é uma manifestação de competência desamparada, de um ponto de vista político de um projeto de país que falhou na construção de instituições dedicadas à tradução sociotécnica (cruzar o vale da morte, da fecundidade para a significância). As entrevistas mostram que a excelência está em todos os lugares: o aluno que não falava inglês mas ganhou uma competição de uma empresa conhecida pelos dispositivos no estado da arte (G.tec); o veterano que no início desenvolveu, artesanalmente, suas placas de captura e estimuladores; o jovem que se indaga sobre o futuro das Interfaces pela hibridização de sinais.

8.4.6. Invasividade e não-Invasividade

A rota invasiva com humanos é inconcebível no contexto brasileiro, as resistências são muitas, começando pela necessidade da implantação e passando por outras: resistência dos comitês de ética; risco clínico (infecção decorrente da cirurgia); durabilidade dos implantes (encapsulamento dos eletrodos); riscos a longo prazo; degradação dos sinais; complexidade dos experimentos; infraestrutura hospitalar avançada; biotério. Um dos entrevistados relatou que há pesquisa invasiva no Brasil, mas limitada a modelos animais (ratos e macacos), que decorre da agenda de um veterano que fez carreira nos EUA. Em humanos, o uso do EEG é predominante, no mundo todo e são poucos os grupos que desenvolvem soluções invasivas.

Nos últimos dez anos, além de laboratórios acadêmicos de ponta no norte global, que já desenvolviam implantes há décadas, *startups* entraram na corrida para superar tais resistências com implantes de segunda geração, biocompatíveis, que minimizam os riscos, entre as quais a *Neuralink* é – dada a estratégia de marketing do fundador – a mais lembrada. No geral, os entrevistados resistem à ideia de perfuração e a promessa de que, no futuro, as Interfaces entregarão aos usuários um capital cognitivo otimizável, embora alguns argumentem que o *hype*, por atrair investimentos privados, pode ser bom para o desenvolvimento no campo. No atual estágio dos implantes, o encapsulamento dos eletrodos e a reação imune exigiriam dos voluntários uma tolerância aos riscos biológicos que só são justificáveis em casos extremos, nos quais alternativas foram esgotadas. O risco da rota invasiva é altíssimo e o Estado brasileiro, caracterizado pelos ciclos de volatilidade e reversibilidade do fomento, não sustenta – com uma rara exceção, mas não em humanos.

O EEG, mesmo sendo uma tecnologia inferior do ponto de vista da precisão é reposicionado como mais adequado por potencialmente ter melhores chances de absorção pelo SUS, mantendo com isso viva a promessa de significância das Interfaces (autonomia inclusiva), para uma base social de usuários mais ampla (acessibilidade). Entretanto, na avaliação de um dos jovens, o EEG estaria atingindo um “plateau” e por consequência pode levar à imobilidade epistêmica – o que hoje é ‘centro-na-periferia’ pode, se a abordagem continuar defensiva, de tipo incremental, ver a sua fecundidade esvair.

A virtude que resiste à via invasiva existe na mesma proporção da falta de infraestrutura para explorá-la na prática, é materialmente coproduzida pela escassez, de modo que o que é mais barato e seguro é reposicionado também como a via mais ética e nobre. Diferentemente do argumento puramente ético, de que a decisão é baseada em valores universais, a sociologia revela que a ciência acredita no que faz porque as condições de contorno assim permitem fazer. Talvez se houvesse editais para biotérios, neurocirurgões, marcos regulatórios, a posição fosse outra.

8.4.7. *Melhoramento humano*

As possibilidades de usos não-médicos das interfaces (jogos, aprimoramento, doping, militares) dividem os pesquisadores entre recusa e instrumentalização. De um lado há uma resistência ética-epistêmica contra as especulações de melhoramento, de outro uma abertura potencial para aplicações comerciais, como jogos e educação, que podem estimular o campo com investimentos e acelerar o desenvolvimento das interfaces – beneficiando pacientes. O imaginário da superinteligência e fusão mente-máquina, que caracterizou o lançamento da *Neuralink* em meados de 2017, é classificado por um dos interlocutores como “bizarro”. A resistência parte de uma posição de ceticismo, fundada no reconhecimento que o conhecimento sobre o cérebro é insuficiente (incerteza ontológica) e que as consequências são imprevisíveis (velocidade transformadora, desresponsabilização). O horizonte de um uso das Interfaces para elevar a produtividade e, com efeito, a competição, ao mesmo tempo que gera lucro para “dois ou três super-ricos” é rechaçado e descredibilizado.

Entretanto, há posições mais ambíguas do que a oposição radical entre reabilitação-assistência (autonomia inclusiva) e melhoramento (autonomia competitiva), que reconhecem que não é imposta pela técnica e sim pela finalidade. Por exemplo, a estimulação elétrica combinada com as ICCs pode alterar a percepção fisiológica e atuar como um promotor da retenção da memória e atenção, do mesmo modo que pode auxiliar o controle de um braço

robótico por uma pessoa com deficiência. O humano que emergiria da incorporação das Interfaces como um tipo de habilidade implica uma visão de alta performance que adentra com facilidade entre militares e esportistas, que já veem o corpo como um biocapital otimizável. Os entrevistados não derivam da possibilidade técnica um elogio ao ‘transhumanismo’ (o desejo de superação biológica, que flerta com a eugenia liberal), mas sustentam um instrumentalismo em relação à visão de uma difusão para além do contexto médico.

Acho que há espaço para ambas as abordagens. O desenvolvimento de BCIs para aplicações não médicas, como recreação e educação, é um foco importante do nosso grupo de pesquisa. Por exemplo, queremos criar jogos controlados por estados emocionais ou treinos para melhorar a atenção. Esses desenvolvimentos podem beneficiar amplamente a população, tornando a tecnologia mais acessível e aceitando mais usuários. Isso, por sua vez, pode ajudar a reduzir os custos e tornar a tecnologia mais disponível para populações vulneráveis, como pessoas com deficiência. Não vejo necessariamente uma tensão, mas uma complementaridade. [...] Se utilizada corretamente, a BCI pode ser muito benéfica mesmo para aplicações não médicas. Isso acaba facilitando o acesso e barateando a tecnologia, beneficiando também aqueles que realmente precisam dela para fins médicos. Mesmo que o foco inicial não seja diretamente em pacientes, a popularização e a redução de custos tornam a tecnologia mais acessível para todos. (Entrevistado 4)

Acredito que as interfaces cérebro-computador têm um futuro promissor, principalmente na combinação com inteligência artificial. [...] A IA permitirá extrair informações valiosas desses dados. Com o desenvolvimento dessas tecnologias, poderemos compatibilizar a inteligência artificial com a inteligência humana. As interfaces cérebro-computador podem se tornar dispositivos que criam uma espécie de inteligência aumentada. Por exemplo, existem problemas que a inteligência humana é excelente em resolver e que uma máquina sozinha não consegue. A interface cérebro-computador permite que acessemos e processemos as atividades cerebrais humanas enquanto resolvemos esses problemas, criando uma sinergia entre a inteligência humana e a artificial. (Entrevistado 5)

Outro uso que eu vi bastante é para monitoramento de estado de sono e vigília. Porque a ideia é você usar algum tipo de coisa em, sei lá, caminhoneiros, a interface percebe que a pessoa está dormindo no volante e dá um susto para a pessoa acordar. Então, eu sei que tinha uma aplicação nesse sentido, que tinha visto que acho que também era o pessoal da DARPA que estava fazendo, mas não só, porque teve vários outros lugares que estão fazendo esse tipo de coisa. [...] Sempre teve uma ideia de usar as interfaces cérebro-computador para jogos, em que você comandaria alguma parte do game, pelo menos, com o cérebro. E sem dúvida isso aceleraria a expansão para a questão médica, porque obviamente você teria justamente recursos privados investidos. Então, sim, tem um lado bom, mas eu sinceramente, eu tenho um pouco de medo. [...] Porque já têm gamers que são viciados com a tecnologia que a gente tem hoje. Mas se em algum momento você começar a comandar coisas com o cérebro, eu não sei, cada vez as pessoas vão se entrando mais nessa realidade. (Entrevistado 6)

Acho que as tecnologias podem ajudar você aprimorar. Acho que todo mundo quer ficar mais inteligente, mais capacidades de performance, possibilidades, então tem alguns ganhos, são áreas que acho que a academia deveria entrar e pesquisar, porque isso está muito solto para o mundo do coaching. Então, a turma vai lá e quer vender sem uma base de pesquisa consolidada em cima. [...] Certamente, a interface pode ajudar, em alguns países, na China, eles usam para auxiliar na sala de aula. Mas, aí, novamente, quem vai ter acesso a isso? Só a elite brasileira. E cada vez mais, a elite vai se distanciar pelo acesso. E aquela coisa, o pessoal vem falar hipocritamente de meritocracia. (Entrevistado 9)

No contexto brasileiro, o Estado apoiou a pesquisa em Interfaces, estabilizou a fecundidade dos principais grupos, mas foi e tem sido insuficiente como força para levar o produto aos pacientes do SUS. Esse bloqueio não é específico ao campo das Interfaces, é a norma. Frente à condição de restrição, o *hype* que a difusão provoca poderia, em tese, atrair financiamento, principalmente as aplicações em educação e recreação, que são indústrias multibilionárias. Curiosamente, o *hype* não descola totalmente do horizonte ético da autonomia inclusiva, é ressignificado como uma força que poderia tracionar a tecnologia médica, subsidiando a pesquisa com alta significância social – barateando, por exemplo, o sensor que será usado pela pessoa tetraplégica – como um tipo de ‘pacto fáustico’ com os setores que detêm o capital, que incluem agências de fomento com relações profundas com forças militares e de uso dual, que esperam – em algum momento – tirar proveito das Interfaces para fins estratégicos (como alunos/profissionais mais inteligentes) e de segurança nacional (forças militares de elite).

A pesquisa indica que os pesquisadores não manifestam uma adesão ideológica à narrativa de ciborgues militares ou imersão via games, mas entendem que a lógica de consumo poderia atrair investimentos para o campo, compensando a falta de recursos no desenvolvimento de uma tecnologia com o dever de curar. A fecundidade de mercado (um videogame habilitado por Interface) captura o poder de compra de uma classe média e de grupos que reconhecem a possibilidade de um ganho na intervenção aprimoradora, é a condição de contorno do próprio capitalismo, frente às quais os laboratórios brasileiros pouco ou nada podem fazer. Nesse sentido, a recusa ética se transmuta em conformismo, para que a tecnologia com fins de autonomia inclusiva não morra no laboratório, o pesquisador simula interesse na disrupção pela difusão torcendo que o avanço transborde e chegue aos pacientes.

8.4.8. A ética somática no contexto das ICCs

Como argumentado na subseção sobre invasividade, a ética somática trata de uma interação multiescalar (materialista) mediada por tecnologias médicas. No caso das ICCs, ela começa no nível celular, com o fenômeno da neuroplasticidade e termina na esfera social na aplicação em

assistência e reabilitação. No meio, os implantes, eletrodos e algoritmos viabilizam a continuidade entre escalas, de modo que a sinapse provoque o controle de um cursor ou de uma cadeira de rodas, por exemplo. O desafio no desenvolvimento das Interfaces é ligar os requisitos de engenharia (e suas limitações atuais) com a imanência corporal (do cérebro, especificamente), além de navegar com alguma confiança num contexto de alta indeterminação (mistérios não resolvidos).

A viabilidade da comunicação cérebro-máquina reside na plasticidade neural, a capacidade do cérebro de buscar meios de incorporar habilidades e instrumentalizar o entorno. Porém, a estabilização da neuroplasticidade é um desafio, o corpo foi treinado pela evolução para identificar com sucesso os “invasores”, de modo que a possibilidade da interação e a compatibilidade dela não andam lado a lado. A interação, principalmente na rota invasiva, é arriscada porque as consequências são silenciosas; a má-adaptação é só notada quando instalada; o erro de decodificação identificado quando o sujeito consegue manifestar o descontentamento; a inflamação crônica quando o eletrodo deixa de capturar sinais. O que a engenharia compreende como ruído é, sob a lente somática, irredutibilidade da vida, condição inerente, mistério e incerteza. O objetivo é extrair o sinal preciso, mas a existência é avessa à purificação, de modo que a técnica passa a exigir o disciplinamento e atenção como uma estratégia de compensação, que pode colidir com as condições reais de engajamento dos voluntários.

O simples fato de a pessoa respirar já gera ruído. [...] Nas baixas frequências, não podemos procurar muita informação porque há muito ruído fisiológico. Se você piscar os olhos, gera ruído. Movimentar um pouco a cabeça também gera ruído (Entrevistado 2)

Atualmente, para detectar um movimento imaginado, como imaginar mover o braço para a direita, é necessário um treinamento longo para que a pessoa possa aprender a usar o sistema. Esse processo é bastante trabalhoso e, na prática, para aplicações gerais, ainda é muito imprático. (Entrevistado 4)

A pessoa não vai saber se ela está atenta ou se não está atenta e mais, se houver um déficit de atenção ou alguma desordem Neurológica. (Entrevistado 7)

Por exemplo, o estado de ânimo antes de fazer o protocolo, o nível de estresse, a quantidade de horas que a pessoa dormiu. Coisas que, para mim, não são importantes, porque para mim, o sistema funciona [...] mas tem essas variáveis, um entendimento da saúde desse paciente, no sentido mais abrangente. (Entrevistado 11)

Nesse sentido, a orientação somática, característica da clínica moderna, é contemporizada porque ela falha sistematicamente – a estabilização é precária. Sua versão “radical”, de um implante totalmente biocompatível, sem consequência, invisível, ‘*plug and play*’, é questionada

com ceticismo e convicção moral de que a invasividade é o último recurso, quando a integridade do corpo (frequentemente de um tetraplégico) é equacionada como uma prisão (a síndrome do encarceramento). As ICCs são um vetor de intervenção somática, capaz de modular as sinapses e a organização do cérebro, e fecundidade do conhecimento sobre a neuroplasticidade se traduz na indução da reconexão da pessoa com o seu entorno, que passa a manifestar autonomia.

O conceito de neuroplasticidade sugere que o cérebro tem a capacidade de formar novas sinapses e criar ligações. Isso é crucial para reabilitação. Interfaces cérebro-computador baseadas em imagética motora têm mostrado potencial para promover neuroplasticidade." (Entrevistado 5)

A repetição desse processo faz com que o cérebro busque, tente conectar, porque ele pensou e mexeu, mas não foi ele que mexeu, porque não conseguiu, ele tenta se reconectar por vias que não estavam sendo usadas. Isso é efetivo, comprovado que funciona, essa técnica e acelera a recuperação. (Entrevistado 8)

O controle como um ideal esbarra na indeterminação ontológica, característica da tecnociência nas fronteiras. O desejo de poder e performance, que ressoa com os critérios de estratificação social do liberalismo é marcado pela *hubris*, exagero e a dubiedade entre superação da humanidade atual e sua futura ruína. Não há uma pacificação: a ética somática é um tipo de manifestação sociocultural cingida e avessa aos consensos – o que explica o porquê de boa parte dos contra-argumentos em relação ao aprimoramento serem variações de denúncias da desigualdade social crescente. A estabilização não implica que os valores (se inclusão, se competição) serão consumados de forma homogênea – nenhuma das tecnologias consequentes da história o foi. No caso das ICCs, como já mencionado, há toda uma fenomenologia (estresse, sono, ânimo, disponibilidade de tempo) que perpassa a construção do usuário, uma complexidade que nem sempre joga a favor do engenheiro interessado em fazer a coisa funcionar de modo acurado. Isso revela que a interação multiescalar, somática, é mutualmente biológica e social.

As entrevistas revelam que o imaginário do aprimoramento é recusado em favor de uma ética do cuidado. Entretanto, reduzir essa manifestação como uma virtude moral dos pesquisadores sobre a *hubris* do norte global é um erro, já que a recusa local é indissociável da precariedade da periferia. O horizonte de restaurar a autonomia, de incluir, tensiona e resiste à mercantilização, se manifesta no reconhecimento de que o cérebro não necessita de um ‘upgrade’ e que sua integridade só pode ser negociada em situações-limite, quando o objeto a ser protegido é a intencionalidade subjacente (a pessoa, o self) – quando ela está reduzida à mais grave restrição. Todavia, o outro caminho – a rota invasiva – não é uma possibilidade do

ponto de vista pragmático, o que torna a posição crítica um tanto quanto abstrata e desprovida de consequências, já que ela ocorre fundamentalmente no ‘centro’ do sistema.

No imaginário central (Capítulo 7), vimos uma disposição em representar o cérebro como um território a ser tocado e, se preciso, perfurado, que há diferentes iniciativas no campo empresarial e acadêmico para domesticar a biologia (a reação imunológica que leva o encapsulamento, principalmente) e que a pressa em chegar lá e sustentar uma visão de fusão entre humano-máquina (potencializada por IA) tem beirado a desresponsabilização (como o caso da alta letalidade de animais nos experimentos da *Neuralink*). Essa variação de ética somática pode ser chamada de disruptiva ou radical, pois tende a minimizar o impacto da incerteza inerente aos instrumentos (a possibilidade dos primeiros voluntários ficarem ‘presos’ a uma versão da tecnologia que eventualmente será vista como grosseira ou até mesmo perigosa).

Bom, a comunidade científica está bem dividida. Tem um que grupo apoia, com muita pesquisa e é um conceito que eles vêm avançando [Elon Musk]. E tem outro que crítica. Eu acho que está crescendo aquelas questões éticas, com maior força. [...] Como eu falei, você poderia desenvolver um sistema supostamente para ajudar, mas talvez não vai necessariamente. (Entrevistado 7)

Mas, o que ele [Elon Musk] não aborda, é que existe, quando você faz um implante, o encapsulamento no entorno do eletrodo, você vai perdendo o contato com esses eletrodos... causa danos no médio e no longo prazo para as pessoas. (Entrevistado 10)

Eu falo é lucrativo porque eles não estão mais preocupados com o bem-estar do paciente, porque não sei se eles, verdadeiramente, contaram para o paciente dos riscos que têm de implantar no córtex esse tipo de sistema. (Entrevistado 11)

Distinta dessa variante disruptiva ou radical, a ética somática emergente no contexto brasileiro recusa o reducionismo da representação de um ‘cérebro plugável’. Os depoimentos vão no sentido do respeito e temor das consequências ao organismo e pessoa – afinal, as condições de contorno são desfavoráveis para o controle da incerteza e dos riscos envolvidos – que, eventualmente, manifestará algum colateral e, quando não, rejeição da Interface, enfraquecendo as tentativas de estabilizar a ponte. É difícil discernir, até o ponto em que a pesquisa avançou, se a responsabilização em abstrato da comunidade local se deve a uma posição moral inegociável (perfurar o cérebro deve ser evitado e ponto, a não ser casos limites) ou se inviabilidade dos arranjos é o principal fator.

8.4.9. A dinâmica da interrupção da dialética

A interrupção entre valores sociais e cognitivos se manifesta na identidade do pesquisador, submetido a demandas irreconciliáveis, precisa ser um acadêmico de cacife internacional, um burocrata eficiente, um líder de pesquisa cativante e às vezes um empresário. Contudo, sozinho, sua energia é consumida por um sistema que resiste à mudança institucional e que, no contexto da tradução clínica/ biomédica, se torna uma trava. Com alguma sorte e muito empenho – inclusive político – o pesquisador consegue criar um grupo, estabilizar um núcleo com massa crítica (mestrandos e doutorandos), simular a centralidade (centro-na-periferia), mas a cadeia intermediária entre o grupo e o ‘mercado’ é um “vazio”, de modo que a atuação fica restrita ao grupo (insular) e o destino dos pesquisadores formados – caso queiram continuar com a agenda – condicionado à abertura de concursos nas universidades públicas ou seleções por institutos de pesquisa privados.

Ainda que a estabilização seja possível – e o é quando o financiamento estatal é recuperado – as dificuldades burocráticas de importação dificultam o empenho dos recursos, atrasam os cronogramas e criam empecilhos para a internalização do desenvolvimento de hardware. A dinâmica da interrupção sociologicamente consome as ilhas de excelência e as intervenções pontuais, os grandes editais podem ter orientação clínica, mas a avaliação não está pautada na inovação, mas no metabolismo gerado pelos artigos de alto impacto; as retóricas inovadoras dos marcos legais raramente estão amparadas em fundos com capital para projetos arriscados; os custos de certificação são intransponíveis; os processos burocráticos demoradíssimos (uma máquina de travar). O resultado disso não poderia ser outro, a fecundidade é esmagada, mesmo quando estável possui um teto de evolução que explicita a interrupção.

8.4.9.1. Publicar & Publicar – mesmo que sem propósito; pela ‘luta’

A pressão por publicar, para apenas alcançar uma métrica quantitativa, esvazia a fecundidade de seu propósito, que é a ligação do resultado (conhecimento) com a significância, a mobilidade dos pesquisadores e a internacionalização das instituições quando condicionada a uma meta livresca resulta em insulamento. A excelência existe, é demonstrada e reconhecida pela contagem de artigos, mas a tradução é baixíssima ou incompleta, colocando um peso e importância desproporcional na divulgação de trabalhos para “inglês ver”, que mantêm a máquina editorial do centro próspera, lucrativa e coage os pesquisadores à aderência – “tem que fazer” – pois não há outro mecanismo para distinguir os ‘melhores’ dos ‘medianos’. Dedicar tempo e esforço para cruzar o “Vale da Morte” ou chegar até uma escola pública pela extensão pode derrubar os índices de desempenho e levar, no ciclo de avaliação seguinte, a perda da

bolsa de produtividade. Essa tensão alimenta uma clivagem interna entre ‘cientistas raiz’, que priorizam a ciência básica e ‘cientistas aplicados’, que buscam a translação.

Tendemos a nos comparar apenas com as pessoas que já conquistaram mais coisas do que nós. Mas também há vários aspectos em jogo, porque pensamos do ponto de vista estritamente acadêmico, normalmente apenas por publicações. Esquecemos de considerar outras coisas que também são importantes na vida e na carreira. (Entrevistado 3)

Até um tempo atrás, uma revista específica tinha uma taxa de 300 dólares para publicação [...] No entanto, algumas revistas têm adotado o modelo de acesso aberto, onde os autores pagam para que seus artigos sejam acessíveis a todos. As taxas para isso podem chegar a 5 mil dólares. Isso é um problema. Quando você considera o custo dos equipamentos e dos sinais de aquisição para a pesquisa, além das taxas de publicação, o valor total pode ser bastante alto. (Entrevista 5)

Por exemplo, nós temos um mestrado, mas o olhar sobre o programa, para nós, dos avaliadores, é diferente. [...] Por exemplo, faz três anos consecutivos que me candidato para uma bolsa, mas não fui beneficiado, apesar de ter uma boa produção científica. (Entrevistado 7)

Eu me envolvo muito nessa questão de competição, porque se você não tiver esse tipo de bom currículo, um bom índice H, você não vai conseguir dinheiro para fazer pesquisa. [...] Então, a gente tem que aderir [...] Então, essa aí é a luta, é conseguir com pouco dinheiro, fazer muitas publicações de impacto, ser muito lido e muito referenciado. (Entrevistado 8)

8.4.9.2. A neurose do pertencimento

A avaliação das instituições e sua segmentação em níveis de excelência adota critérios de pertencimento que mimetizam o que o norte global tem feito e controlado há mais de um século, que é a divulgação dos resultados (artigos, principalmente, em revistas “globais”) e seu ranqueamento. Tais números, que revelam esforço e trabalho, se materializam em currículos competitivos e índices H compatíveis com o padrão central, simulando-o na periferia, mas geram uma neurose que secundariza a extensão universitária e a participação nos assuntos locais, em prol de uma posição de destaque num ranking que, na prática, falha em reconhecer a excelência que diz promover – afinal, o primeiro lugar só pode ser de um. Isso força os melhores, o ‘centro-na-periferia’, a assumir a identidade de ‘parceiro júnior’ que acredita ser um par do centro, mas que é reiteradamente lembrado de sua inferioridade relativa, algo como estar ali (visível) embora sem destaque. A assimetria dos critérios rouba o vocabulário para a afirmação do pioneirismo.

A universidade deveria priorizar a extensão nesse momento, ao invés de tentar subir em rankings, que é uma bobagem sem tamanho. Temos condições de saber quem somos, sem precisar de aprovação externa. [...] A postura colonizada me incomoda, assim como a internacionalização como fetiche de

marketing, algo muito comum nas agências de fomento hoje em dia. (Entrevistado 1)

A gente está ali, né? A gente não está se destacando [...] O pessoal que eu convivo mais, a gente está fazendo coisas, a gente tem publicado, tem revistas boas da área, mas não estamos nos destacando. (Entrevistado 6)

O Brasil, a América Latina, sempre foi vista como subalterno, nunca foi visto como parceiro. [...] a academia brasileira precisa descer do pedestal. Achar que a gente colabora nos Estados Unidos, com a Europa, estamos iguais? Não somos iguais. (Entrevistado 9)

O trabalho dele era muito melhor do que do outro competidor, mas ele não conseguiu responder as perguntas... Ele se embolou todo no inglês e ficou em segundo. Mas, o trabalho dele era muito melhor do que do outro competidor. (Entrevistado 13)

8.4.9.3. O custo epistêmico da restrição nas condições de contorno

Os pesquisadores que desenvolvem Interfaces no Brasil têm clareza que a rota não invasiva implica uma precisão menor e por consequência, uma interface lenta e menos efetiva. Em tese, a via não invasiva deveria ser um caminho potente para garantir a significância, uma autonomia inclusiva acessível para o maior número de pessoas possível (usuários do SUS), mas a dificuldade em engajar voluntários e hospitais, a ausência de uma cadeia produtiva, de investidores, e de uma atuação regulamentadora favorável, afastam a adoção. O protótipo continua no laboratório, seu alcance circunscrito à capacidade dos estudos clínicos mobilizarem e engajarem voluntários, correndo o risco da imobilidade no longo prazo (o plateau).

A principal dificuldade é que os pacientes já passam muito tempo esperando e fazendo exames médicos, e quando convidamos para participar dos testes, eles estão cansados e querem ir embora. Mesmo com a estrutura do hospital, é difícil conseguir voluntários. [...] Pedir que participem de nossos experimentos após esses exames é inviável. Mesmo oferecendo para fazer os testes antes dos exames principais, enfrentamos resistência por parte do protocolo do hospital. (Entrevistado 2)

Do ponto de vista técnico, adquirir sinais cerebrais precisos sem invasão é desafiador... Em ambientes controlados, conseguimos altas taxas de acerto, mas quando se trata do uso no dia a dia, a eficácia cai. Isso pode ser frustrante para os usuários. Imagine tentar usar um cursor e ele não responder corretamente; a pessoa pode desistir e voltar para métodos convencionais. (Entrevistado 4)

Muitas vezes a gente tem problemas que, assim, vamos supor um sistema que precisa ter uma alta tensão, mas os produtos comerciais têm uma baixa tensão. Aí eu preciso de um estudante de mestrado para que faça uma modificação nesse produto, para conseguir atingir essa alta tensão e aí perdemos muito tempo. Em vez de fazer a conexão com uma empresa que poderia ganhar com esse novo sistema e fazer a pesquisa avançar mais rápido. (Entrevistado 11)

Eu acho que a parte de ICC não invasiva está chegando como num plateau [...] onde vai ser muito difícil, mais para a frente, continuar desenvolvendo essa tecnologia ou inovando. (Entrevistado 12)

8.4.9.4. O ônus do pioneiro

Liderar uma agenda de desenvolvimento no Brasil exige das lideranças fazer pesquisa, publicar muito, demonstrar a funcionalidade, patentear, formar a equipe, orientar a burocracia e buscar o empresariado. A sobrecarga esvazia a capacidade de agência, pois as demandas forçam a dissipação. Ao mesmo tempo, do outro lado, nos arranjos produtivos, são confrontados ou pelo vazio ou pelo desinteresse, o que força os líderes a assumirem a posição de “quem vai fazer” ou “empreender”. Contudo, ao adotar a posição de um ‘embaixador da indústria que não existe’, o líder assume o ônus de sacrificar o prestígio que decorre da fecundidade manifestada pela alta produção bibliográfica, podendo cair num limbo – nem um pesquisador de perfil central, nem um empresário bem-sucedido.

Eu estou agora passando aquela matéria de tecnologia, de inovação tecnológica, eu estou tentando[...] como o pesquisador melhorar e tentar pensar em como avançar nos TRLs. E obviamente, talvez isso mude minimamente o meu entorno, ou seja, dá para acreditar. (Entrevistado 7)

A gente faz a pesquisa, demonstra que funciona, patenteia, mas na hora de comercializar, quem é que vai fazer? [...] como professor produtivo temos muitas atribuições[...] e ainda tem que procurar um empresário? (Entrevistado 8)

Eu estou me colocando com esse embaixador para indústria nacional, apesar de ela estar muito mais interessada em coisas imediatas. [...] a indústria não tem interesse, estamos várias casinhas para trás. (Entrevistado 9)

Vamos supor, para a startup, eu tenho que gastar 1 milhão de reais por produto para certificar. Não adianta eu pegar 500 mil reais e ceder da empresa 20%. Porque 500 mil reais não servem nada, não certifica nem um produto. [...] Então, por exemplo, só vale a pena [...] pegar um valor elevado cedendo uma porcentagem pequena. E para encontrar alguém que queria assumir um risco tão grande assim, não é normal. (Entrevistado 10)

8.5. Considerações finais

Os resultados da pesquisa indicam que, pelo menos no que toca às Interfaces Cérebro-Computador, o arranjo produtivo que poderia viabilizar a emergência delas como uma solução médica é ausente. Faltam empresas nacionais que possam tracionar ou se interessar pelo desenvolvimento e os investidores, quando confrontados com os custos regulatórios, encerram as conversas. Em tese, a demanda do SUS, que é um indutor potencial da inovação, não alcança a prática, apesar do desejo dos pesquisadores em fazer uma ciência enraizada no Brasil. Do lado das instituições científicas, o sistema possui poucas recompensas para projetos que intentam

lutar pela soberania tecnológica, importando mais o pedestal dos rankings – quer dizer, o segundo escalão deles. Pouco importa se o pesquisador veste a camisa de empreendedor, se joga o jogo das estrelas acadêmicas – com um *índice H* competitivo – ou se habita um cluster bem equipado, a estrutura da dependência implica o descolamento entre a fecundidade (o artigo, algoritmo, protótipo) e significância (o paciente, a economia para o SUS, o produto, uma indústria de medtech). A tecnociência periférica é simultaneamente brilhante, um ‘centro-na-periferia’ e – usando um termo próprio do campo das Interfaces – encapsulada.

Os laboratórios brasileiros demonstram domínio do ciclo de desenvolvimento, cadeiras de rodas funcionais que poderiam ter sido popularizadas com a ‘iniciativa certa’, mas o domínio se perde na tradução, existe como um quase que nunca chega, vulnerável à captura externa, exportando fecundidade para o ‘centro’, onde o arranjo sociotécnico (capitalista, militarista) está operante e pronto para a transformação em vantagem econômica (startups, domínio tecnológico). A excelência se mostra, portanto, pela chave da oportunidade perdida – o plateau, o descolamento entre o que é feito de tecnologia nacionalmente e globalmente – ou como uma curiosidade exótica – a surpresa que eventualmente provoca nos observadores externos quando se familiarizam com a competência brasileira nesse campo. O ponto crítico dos resultados aponta que a interrupção é coproduzida pela excelência, devido à forma como ela é avaliada e visibilizada. Ela cobra muito dos cientistas, que devem manter a máquina rodando na falta das engrenagens. Não há capital de risco, nem regulamentação que facilite a inovação, na ausência dos mecanismos são os próprios cientistas que preenchem o vácuo e se frustram todas as vezes que o voluntarismo não lega os resultados esperados – a startup, os empregos na indústria, a difusão tecnológica. Na outra ponta, onde há mecanismos em ação, o que se exige é a simulação da centralidade, o desempenho quantitativo que cria uma impressão de igualdade que os próprios pesquisadores sabem ser ilusória – ‘não são iguais, essa é a verdade’.

Como demonstrado na análise da escolha pela rota não invasiva, a ciência acredita no que faz porque as condições de contorno assim permitem fazer e o encapsulamento é um tipo de materialização sociotécnica. Tal metáfora, termo muito utilizado no campo para referir-se à reação do corpo ao isolar os eletrodos implantados ou de superfície, que reduz o contato e inviabiliza a Interface, é uma boa chave de interpretação sociológica. No contexto da interrupção da dialética, o arranjo sociotécnico ‘encapsula’ a inovação dentro dos muros das universidades públicas e institutos de pesquisa, enfraquecendo – até a asfixia – a ponte entre fecundidade e significância. A rejeição do arranjo é caracterizada, mas não só, pela máquina de travar burocrática, o vazio de capital de risco, os altos custos regulatórios, a instabilidade da

identidade do pesquisador de excelência que também quer inovar. Com isso, o efeito esperado, a translação clínica ou mercadológica, não estabiliza e fica restrita a demonstrações experimentais, que rendem bons artigos, às vezes patentes, mas com o tempo se tornam estruturalmente bloqueadas.

O CEIS (Complexo Econômico-Industrial da Saúde), concebido como estratégia para alinhar a lógica econômica com a sociosanitária, através da convergência entre ciência, base produtiva, é o ‘negativo fotográfico’ desta pesquisa em Interfaces Cérebro-Computador, no lugar dele há um abismo nos arranjos e uma insularidade que transfere o peso da inovação para o pesquisador. Contudo, nenhuma das intervenções pontuais e individuais foram capaz de inverter o quadro, apesar do esforço de veteranos e jovens em reatar a dialética. O CEIS, enquanto ideal, é tanto um horizonte aspiracional quanto (pela ausência) uma barreira estrutural, evidenciado na dubiedade de produzir patentes e protótipos que não são absorvidos pela indústria nacional, simultaneamente alta fecundidade e baixa significância – que subsiste como um desejo, uma entidade suspensa no limiar entre o protótipo de pesquisa e uma solução de mercado. A improvisação, adaptação ou gambiarra demonstra a capacidade local de engenharia e o compromisso dos pesquisadores com a ética do cuidado (autonomia inclusiva), mas não é suficiente para destravar as forças do ‘mercado’. Por consequência, o voluntarismo é – na maioria das vezes – estéril, frustrado, um quase lá. Já que as condições de estabilização decorrem mais do jogo acadêmico (dos papers, principalmente) a dificuldade generalizada alimenta uma tensão que força as agências tradicionais (CNPq, Capes) a reconhecer uma orientação (a de dar significância pela tecnologia) que na lógica linear, de formação e apoio à ciência básica, é secundária, resultando na percepção de oposição entre ‘cientistas raiz’ e ‘cientistas aplicados’. Entretanto, a oposição interna é proporcional à captura das agências de inovação (Finep, FNDCT) e instrumentos fiscais (Lei do Bem, Lei de TICs) por agendas de baixo risco, que servem para a atualização da indústria atrasada via crédito e forçam uma luta por sobrevivência entre Institutos e Universidades – é mais fácil derrotar um “par” do que uma indústria dependente, estrategicamente subalterna ao capital estrangeiro, com capacidade de lobby político infinitamente superior.

Os entrevistados relatam que, no âmbito das identidades, há uma consciência crítica formada em tentativas de assumir a identidade do mercado (o empreendedor, o embaixador da indústria) ou da comunidade local (o extensionista, o parceiro do SUS), mas as instituições não acompanham. Dada a força da inércia, são sugados pela lógica do produtivismo acadêmico, de certo modo compreensível por ser um indicativo da quantidade e qualidade dos recursos

humanos formados, que combinada às condições de contorno, esteriliza as melhores iniciativas de inovação (a cadeira de rodas, o protótipo de órtese).

Os grupos com o perfil de ‘centro-na-periferia’ atuam no limite do ‘fazer instituições’, de modo que chamam para si muitas responsabilidades, na esperança de que a estrutura das universidades e institutos de pesquisa viabilize, na base da teimosia e de formação de redes ‘pró-mercado’, as pontes materiais de tradução (design Houses, incubadoras, compras públicas), para que assim o interesse privado siga o exemplo e invista, criando possibilidades de uma sinergia maior. O sonho é que, com a tradução, venha a síntese da identidade da ilha de excelência e do pesquisador estrelar – que são inseparáveis – numa lógica de cooperação com a indústria de medtech, diversificando com isso os papéis, criando um ecossistema em que acadêmico convive com engenheiro clínico, biomédico, fisioterapeuta etc. Num cenário como esse, ideal, a publicação nas melhores revistas, as patentes depositadas, adquiririam um contorno de operacionalização tecnológica, alinhariam a fecundidade com a significância, a gambiarra (prova da mais alta criatividade) com o produto e a autonomia inclusiva com os pacientes do SUS. O sonho do CEIS, de inserção social das tecnologias médicas que estabilizaria, no longo prazo, a translação da bancada para a clínica. Contudo, essa imagem-imaginário é, até o presente momento, o negativo das condições existentes.

Dimensão da coprodução	Evidência empírica nos resultados (Articulação CTS)
Identities	O pesquisador-ilha sofre o confinamento epistêmico, sobrevivendo isolado na excelência. O arranjo forma o talento para exportá-lo como parceiro júnior do centro , os alunos que estão nas melhores universidades do mundo. Para tentar romper a "cicatriz" do encapsulamento, pesquisadores forçam a transição de papéis, assumindo a identidade de embaixador da indústria , tensionando a carreira acadêmica.
Instituições	As instituições operam a reversibilidade cíclica que encapsula a inovação. FAPESP, Finep e fundações estaduais funcionam como estabilizadores , permitindo a estabilização da pesquisa e continuidade dos grupos. No entanto, as universidades operam como silos (a insularidade funcional), sem tradução para a clínica. A ANVISA ergue-se como um muro financeiro que bloqueia a certificação.
Discursos	O produtivismo acadêmico encoraja publicar "para inglês ver", onde o valor cognitivo se autonomiza da significância, perde o propósito social. Para atrair verbas, o pesquisador faz uso da simulação da centralidade . No cerne ético, a tensão discursiva tenta subordinar os usos comerciais (hipotéticos) à autonomia inclusiva (tecnologia assistiva para o SUS), na esperança que a iniciativa privada acompanhe.
Representações	A gambiarra emerge como competência desamparada : a adaptação atesta a altíssima fecundidade técnica e a absoluta restrição material, configurando um dispositivo fadada a não escalar para a sociedade. O sonho de um aparelho a pilha numa aldeia remota reflete a representação de um imaginário situado lutando para escapar do encapsulamento. No fim, o ecossistema brasileiro revela-se como o negativo fotográfico do CEIS (Complexo Econômico-Industrial da Saúde): em vez de a demanda pública puxar a inovação para reatar a dialética, o conhecimento morre na bancada pelo vazio nos arranjos produtivos.

Quadro 8: A coprodução da interrupção da dialética no campo das ICCs no Brasil.

Fonte: Elaboração própria.

Aspirações de Controle e Ciência Periférica

9. Conclusão

Na primeira parte, onde desenvolvemos o núcleo teórico da tese, mobilizamos Jasanoff (2004) para operacionalizar um estudo de caso e, ao mesmo tempo, dialogar com a teoria dialética dos valores sociais e cognitivos sob a luz da assimetria entre centro-periferia (e seu duplo interno, ‘centro-na-periferia’) e a das particularidades da disrupção tecnológica, incluindo as neurociências (materialismo, plasticidade, ética somática). Jasanoff, em diferentes momentos de sua obra, ressaltou que a coprodução se assemelha mais a um idioma, como uma forma de narrar as biografias sociotécnicas e comparar fenômenos de modo situado, do que uma teoria organizada. Em outras palavras, a coprodução não determina a compreensão sociológica, já que cada época e lugar são, de certo modo, irreduzíveis. Na outra ponta de articulação, a dialética dos valores proposta por Lacey (2008) é universal e diferencialista. Universal porque ciência diz respeito ao conhecimento sistemático, com grande abrangência e interconexões, com o fim de ‘explicar com base em valores cognitivos’, mas sem regredir ao reducionismo de uma ciência unificada. Na verdade, as manifestações da ciência são heterogêneas e sem pluralidade a busca pela mais alta adesão aos valores cognitivos é vazia, torna-se dogmática. Avançamos com o idioma coproducionista e o modelo dialético incorporando outras duas dimensões, uma estrutural e outra ontológica.

Na primeira, partindo de Neves (2020), destacamos que a ciência além de heterogênea é assimétrica, os juízos sobre o que é bom se manifestam em juízos sobre superioridade e inferioridade, um continuum de centro-periferia, resultando numa hierarquia interna ao conhecimento e desenvolvimento tecnológico que tem como ponto de articulação a dependência. Exploramos a base teórica dessa articulação no início da segunda parte pela reconstrução dos argumentos de autores clássicos e contemporâneos que se debruçaram sobre a dependência e como, já nas primeiras formulações nos anos 70, a dinâmica de diferenciação e fragmentação já tinha sido identificada. No Brasil, isso aparecia como um diagnóstico da heteronomia das periferias, de uma economia dual, ao mesmo tempo moderna e atrasada, de um desenvolvimento desigual e combinado que insere a burguesia local como uma sócia menor do capitalismo global.

Na segunda dimensão, em diálogo com a literatura CTS sobre neurociências, particularmente o trabalho de Rose e Abi-Rached (2013) e Vidal e Ortega (2017), demonstramos que a estratégia materialista característica da tecnociência ganha contornos específicos numa ética somática – o compromisso com a construção das mediações entre

escalas biológicas e sociais – que atualiza o controle sobre a natureza, nesse caso, o cérebro, no sentido de modular a sua plasticidade e estabilizar pelas neurotecnologias, como as Interfaces Cérebro-Computador (ICCs), as novas identidades, particularmente a do usuário de implantes, o sujeito restituído de sua autonomia ou o ciborgue com competências mais que humanas.

A articulação da dimensão estrutural e ontológica num aparato teórico comum se provou um desafio e só foi parcialmente alcançado, principalmente devido às limitações empíricas do trabalho no que concerne a dimensão ontológica da ética somática, dado que o contexto de produção e difusão dessas ideias é característico do norte global (Estados Unidos e Europa). A exploração teórica da ética somática exige um tipo de entrada em campo que o trabalho realizado não logrou e, por isso, exige complementação, como o esforço de alcançar os voluntários brasileiros que participaram das experimentações com Interface Cérebro-Computador. Nesse aspecto, a tese oferece algumas pistas via inferência, com base nas entrevistas realizadas com os pesquisadores, que elaboram a ética como *cuidado para inclusão*, que é distinta da formulação original que atribui um peso maior a otimização do biocapital e a emergência de um discurso centrado na performance individual.

O núcleo do esforço teórico esteve desde o início da pesquisa concentrado na dialética entre valores sociais, particularmente o controle da natureza (materialismo), com os cognitivos, referentes ao reconhecimento de um esforço sistêmico em adequação, consistência, simplicidade e precisão. Isso permitiu uma análise das relações sociais e não a redução delas – a realidade é sempre porosa e assustadoramente complexa – a ponto de demonstrar que a interrupção da dialética é a norma. Os imaginários sociotécnicos, aqui as visões de futuro sobre desenvolvimento e inovação e o campo das neurotecnologias, indicam para a distância entre tipo ideal (tecnociência) e realidade (volátil). Se alcança a dialética hegemônica mediante um grande esforço, estruturalmente excludente, que se manifesta em perspectivas ou configurações de valores, isto é: concepções compartilhadas sobre o que é “bom” e “dever”, na concepção de Taylor (2013), que não são “optativos”.

A vida social, para fazer sentido, precisa de valores como um recurso organizador e superior à moral, entendida como manifestação particular dos valores. Isso significa que, na prática, é possível e comum que subjetivamente pessoas e grupos compartilhem de valores sem concordar com as implicações morais. Ao posicioná-los num nível superior de abstração, podemos derivar a condição lógica de que ‘partilhar de uma concepção sobre o que é bom’ não exclui a contingência das preferências, distinguindo o que é um esforço de sociologia dos valores de

sociologia da moral. A primeira é mais teórica, se concentra nas dinâmicas de produção da unidade e alteridade; a segunda é mais empírica e histórica, se concentra no conteúdo, no que um dado coletivo ou ator professa como particularmente bom e correto. São esforços complementares e a tese não avançou na construção da ponte entre uma e outra, apesar de apresentar resultados empíricos, como a noção de autonomia inclusiva, que podem ser lidos na segunda chave. A transparência é o primeiro dos recursos metodológicos e, dado o número pequeno de entrevistados, sustentar a afirmação de que portanto essa é a moral específica, localmente enraizada, exige um edifício empírico mais completo, por isso a preferência por uma problemática mais especulativa da dinâmica da dialética entre valores sociais e cognitivos.

Dado que o problema é o conhecimento científico, os valores cognitivos manifestam a construção de um tipo de unidade, em torno da boa ciência, que concebe como ‘bem diferenciado’ o conhecimento sistemático, organizado e demonstrável, capaz de resistir o reducionismo pela moral ao elevar como critério de avaliação a abertura para refutações e combinações. Ao fazer isso, enfrentamos o problema da indissociabilidade prática sem abandonar o esforço teórico de desvelar e tipificar os mecanismos ocultos e não tão óbvios que caracterizam o esforço sociológico, além de estressar as premissas do modelo – principalmente do reforço mútuo – através de uma leitura coproducionista da significância e fecundidade, isto é: da relação entre *‘porque a inovação e desenvolvimento importa’* e o *‘alcance do conhecimento legado’*.

O idioma de Jasanoff, os tipos de fazeres (identidades, instituições, discursos e representações) que menciona, funcionou como um enquadramento heurística na metodologia, que também é o caminho do pensar, para evitar a retórica circular de que os valores explicam os valores. O desejo foi compreender o campo das ICCs em termos sociotécnicos e contextuais (Brasil, periferia) sem impor um corte com a globalização das visões de futuro associadas a possibilidade de uma difusão tecnológica e a expectativa associada. A seguir, consolidamos a análise, para cada um desses “fazer” ou “práticas”, sob a luz dos resultados da pesquisa, em um quadro sintético:

Práticas	Dimensões
Fazer Identidades	Processos de subjetivação, temporalidade das identidades, escalas empíricas e materiais (e.g.: os atores sociais; as fundações de fomento; o cérebro; o caráter somático do corpo)
Fazer Instituições	Instituições, processos de estabilização, ciclos políticos e históricos, particularidades no nível da ação (e.g.: a emergência do ‘centro-na-periferia’; a experimentação clínica; a busca por financiamento; a produção de artigos e protótipos)
Fazer Discursos	Núcleo discursivo, promessas e expectativas, operacionalização retórica, repetições e transformações de posições no campo (e.g.: a autonomia inclusiva como meta; a convergência com o SUS para a viabilização; a resistência periférica ao <i>hype</i> invasivo)
Fazer Representações	Núcleo representacional, metáforas, narrativas, processos de visualização e legitimação, temporalidade das representações (e.g.: a neuroplasticidade; os riscos da intervenção; o humano recuperado vs o humano melhorado; o ‘país do quase’)

Quadro 9: Práticas/ordens de coprodução - definições práticas.
Fonte: Elaboração própria.

9.1. A dialética na prática

O fazer das práticas é marcado por uma ambiguidade entre aspiração (com frustração) e realização (individual, pontual). De um lado há alta fecundidade, uma ciência que opera no mais alto nível de rigor e demonstração, que quase chega numa entidade estabilizada, feita para difusão enquanto produto ou solução. A ambiguidade reside no limiar, a ciência lega artigos e patentes, que às vezes chegam a destravar as primeiras etapas de estabilização como provas de conceito e protótipos, mas a partir de um certo estágio o desenvolvimento se transmuta em suspensão e esquecimento. Com efeito, a significância almejada regride para o desejo voluntarista ou uma espera de que a ‘iniciativa ou momento certo’ apareça como uma força externa (Estado, mercado) e catalize a tradução. Em síntese, essa é a interrupção da dialética que caracteriza o que chamamos de ‘*centro-na-periferia*’: alta fecundidade com significância potencial e na prática baixa, algo que um dos interlocutores colocou, em tom provocativo, como ‘*ciência para inglês ver*’ – importante ressaltar a ambiguidade dessa expressão por indicar tanto para reconhecimento externo (inserção) quanto a pouca relevância interna (quem não vê é o brasileiro).

Os pesquisadores que entrevistamos se reconhecem como parte da excelência nacional e de fato o são – o método de seleção priorizou métricas quantitativas, como artigos, patentes, orientações, a autopercepção confirma o viés já esperado da naturalidade dessas métricas. Quando questionados sobre a orientação do trabalho, endossam o discurso da autonomia, da parceria com o SUS, da sonhada soberania tecnológica, ao mesmo tempo que reconhecem um cenário de concretizações parciais e suspensas. Esse padrão não causa surpresa. A análise da

PCT (Política Científica e Tecnológica) revelou esse padrão ambíguo, que é um tema da literatura especializada desde os teóricos da dependência, remontando os anos 1950-1970. O Brasil é conhecido pelos seus cientistas estelares e grupos familiarizados com o ‘estado da arte’, que manifestam a fecundidade (alcance do conhecimento) de modos criativos, pela adaptação e gambiarra para atuar em campos de ponta, evidentemente mais caros. Há uma infinidade de exemplos, ainda que na maioria das vezes desarticulados, de internalização da competências, de cientistas e pesquisadores ‘competitivos’ e em condição de ‘paridade’ no tocante à fecundidade com os ‘melhores do mundo’, o ‘centro’, publicando nas mesmas revistas e bons números de citações. Tais pesquisadores são prestigiados regionalmente e, em alguns casos, são ativamente procurados por aspirantes talentosos que emigram para o Brasil, compondo o ‘centro-na-periferia’. Quando há condições de estabilização, como fundações estaduais de amparo e apoio federal, os laboratórios alcançam notoriedade, com uma produção vigorosa de artigos de classe global e evidência do ‘quase lá’, dos protótipos funcionais, muitas vezes congelados no tempo, que não chegaram a estabilização final por falta de instituições que os encampassem como inovação.

Dito isso, a baixa significância é o limiar entre aspiração (na formulação dominante, controle sobre a natureza) e frustração (das condições de contorno, do capitalismo periférico e dependente). Claro que a interrupção entre fecundidade e significância, apesar de dominante, não é uma força absolutista. Há exemplos de sucesso no Brasil, de empresas nacionais criadas pelo Estado, como a Petrobrás, Embraer e Embrapa, que desenvolveram soluções de alta complexidade e são lideranças e lembretes de que há um fundo de viabilidade na alta fecundidade, que mantem a aspiração periférica viva, mesmo frente às restrições estruturais. A priorização política, combinada a uma ponte empresarial, pode reverter a interrupção e alçar o Brasil para uma posição de destaque setorial, com alguma condição de até rivalizar com o ‘centro’. Em outras palavras, o discurso da autonomia encontra respaldo em sucessos reais e traz o reconforto de histórias nas quais a esperança em relação ao futuro pode habitar, ainda que a estrutura dependente e cada vez mais assimétrica – vide a deterioração da balança comercial brasileira de instrumentos médicos – avança no sentido de nos lembrar da condição periférica, com traços de centralidade na subalternidade.

Se as ‘joias da coroa’ (Petrobrás, Embraer, Embrapa), a maioria de estatais ou antigas estatais, são lembretes da capacidade brasileira em construir as pontes, a análise detalhada ou agregada da posição brasileira nos mercados de média e alta tecnologia são acachapantes,

deixam pouca margem para o discurso da autonomia tecnológica (a não ser como uma aspiração). O diagnóstico da dependência é quase um senso-comum, ele se repete onde os arranjos produtivos se esgarçaram e não foram capazes de acompanhar a inovação que reconfigurou os mercados de tecnologia. Vimos, quando a PCT foi discutida, que o balanço dos últimos 30 anos é, no geral, negativo ou inconsistente – dada a volatilidade dos investimentos – explicitando as dificuldades que o país vivencia na estabilização das instituições. Os *rankings* globais de competitividade, inovação e complexidade nos lembram da estagnação brasileira (na melhor das hipóteses) e do recuo estrutural (na maior parte do tempo), que se manifestam nos discursos da desindustrialização e reindustrialização. A situação não é pior porque, apesar de tudo, o país conservou e até expandiu uma base científica forte durante o ciclo de bonança entre meados de 2004 e 2014. Porém, o que é uma ‘fortaleza’ na análise da PCT desliza, ao mesmo tempo, para o problema da sobrecarga, algo que os interlocutores dessa pesquisa ressaltaram em diferentes momentos. A distância entre uma academia de padrão global e uma indústria atrasada cria um peso desproporcional sobre a fecundidade, resultando em discursos que mobilizam a ‘excelência científica’ como uma tábua de salvação. Esse deslizamento semântico foi observado nas entrevistas. São os pesquisadores, vinculados às universidades públicas e institutos de pesquisa que precisam ‘correr atrás dos poucos empresários’ e assumir a identidade híbrida do ‘cientista-empREENDEDOR’ para salvar as instituições da volatilidade sistêmica. Muitas vezes a continuidade de uma agenda fecunda é viabilizada não pela presença atuante de uma visão de estado, mas pelo protagonismo dos pesquisadores, da habilidade política deles em criar um impulso de inserção como ‘centro-na-periferia’.

Notamos tanto pela análise da PCT, quanto pelas entrevistas, que a alta burocracia é um máquina de travar. O fazer institucional, a teoria da dependência já apontou, é suscetível à captura pelo *lobby* corporativo das grandes corporações, na sua maioria multinacionais estrangeiras e seus ‘parceiros juniores’, sem dúvidas ‘excelentes’, mas que para participar do jogo do capitalismo global precisam evitar o tensionamento dos instrumentos de política pública em direção a ‘autonomia’ e ‘soberania’. A condição da participação é a subordinação estratégica. Nesse aspecto, o discurso da fecundidade e excelência como tábua de salvação ganha contornos claros. A defesa do corporativismo, dos próprios interesses, se transmuta no argumento de que a fecundidade (recursos humanos, infraestrutura, conhecimento) gerará espontaneamente iniciativas transformadoras sem a necessidade de reformas. Bastaria conservar o ‘time que está ganhando’, proteger os melhores, para colher os resultados a longo prazo em inovação.

A implicação disso é que, apesar dos diagnósticos frequentemente se aliarem a uma compreensão iterativa de ciência, que a visão linear continua operante, inclusive nos circuitos de pesquisa aplicada com a indústria, o que explica a baixa integração, por exemplo, do setor de instrumentos médicos com o de TICs, relativamente bem estruturado e abundante. O fazer das instituições é estreito porque o cálculo político, pragmático, ensina que no contexto de um país dependente não se deve desafiar o *status quo*, que pode retaliar com a retirada dos investimentos para um ‘lugar mais favorável’, a perda dos empregos qualificados e uma desindustrialização mais profunda. A outra face o pragmatismo é o conformismo, a inércia das instituições e no plano das representações a falha em articular metáforas potentes, como a do paciente recuperado e incluído por tecnologias médicas, como uma fonte de legitimação e mobilização da sociedade civil. Ao mesmo tempo o fazer das instituições manifesta um compromisso formalista: cria-se uma Lei, Portaria, Marco ou Decreto para solucionar o problema da segurança jurídica, forma-se uma constelação de arcabouços que até mesmo os especialistas em PCT não dominam. Proporcional à disposição em formalizar é a ausência de reformas reais: nas universidades, os mecanismos de ingresso e carreira são os mesmos dos anos 1970; as empresas brasileiras (que incluem as multinacionais) continuam em larga medida desinteressadas na PD&I interna, apesar de incentivos fiscais consolidados desde os anos 2000.

Muito se escreve sobre o quão a ciência nacional é boa. Qualquer um familiarizado com avaliação científica se acostumou a começar pelos artigos, o ponto forte do Brasil, mesmo que na prática pouco seja feito com esse conhecimento, ou que o propósito subjacente seja a marca de autoridade que um número elevado de publicações e citações provoca, fazendo o produtivismo deslizar para um juízo de impacto e qualidade. Assim, a avaliação da ciência se tornou uma máquina de contar, com um discurso de matematização complexo que, do ponto de vista formal, parece indicar para competências acumuladas, mas que confundem correlação (produtividade numa área) como causação (vantagem competitiva). A retidão epistemológica dos *rankings* e índices, que reproduzem de forma mais sofisticada a linearidade da ciência para inovação, da fecundidade para a significância, explicita o compromisso performativo. Na maioria das vezes, o discurso de avaliação não traz nada de novo, os primeiros lugares são sempre os mesmos países e instituições, as variações, a depender da área, são pontuais, de modo que o que se extrai, via inferência, tem uma validade limitada à compreensão do compromisso dos grupos de pesquisa com a publicação e internacionalização. O discurso de que número *x* de artigos implica, *portanto*, competência *y* de tradução tecnológica é um pensamento ilusório, *wishful thinking* com utilidade performativa. Ele “simula a centralidade”, mas na prática todos

sabem e conhecem a profundidade da desconexão entre x e y , basta acrescentar ao cálculo a atividade patentária, a mobilidade de pesquisadores para a indústria, para a sombra de grandeza esvanecer na maioria das realidades nacionais e locais.

Essa crítica não visa desmerecer o trabalho, a publicação em periódicos internacionais exige muita competência acumulada (fecundidade). Contudo, ignorar que a máquina apresenta claros sinais de estar quebrada (significância), valorizando mais o lucro das grandes editoras do que a novidade da publicação, revela um estilo de avaliação performativa, aspiracional, que captura a imaginação, tornando muitos dos estudos pouco mais do que panfletos laudatórios – com a vã esperança de que a indústria, ao olhar para os números, decidirá pelo investimento de risco e uma parceria público-privada. Ouvimos, para essa pesquisa, de entrevistados que se reconhecem na identidade de *‘empreendedor’* e *‘embaixador da indústria’* que a métrica quantitativa importa muito pouco para o transbordamento desejado. Então, por que a insistência? Parte da resposta começa no viés confirmatório da demanda pela avaliação, que geralmente opera na lógica da manutenção das regras e não no reconhecimento dos problemas. Avalia-se para dizer que o grupo que já esperávamos ser o melhor é realmente o melhor e que, portanto, o sistema funciona. Simples assim. Isso cria o abismo que os entrevistados mais jovens se referem quando ingressam na carreira, o acesso diferenciado aos critérios que beneficia os mais fortes do campo. O fazer institucional é bem-vindo quando pode ser instrumentalizado pelos principais *‘stakeholders’*, a técnica reveste a política subjacente e mascara a urgência dos problemas que poderiam desestabilizar a hierarquia. Por isso, os diagnósticos são sempre os mesmos e as discussões em torno deles é caracterizada mais pelo clima de *‘network’* do que realmente a construção de um propósito comum.

A ciência não está deslocada da estrutura social. Não é porque ela é excelente que deixa de ter os marcadores sociológicos básicos de classe, gênero, raça, idade – o padrão se repete, em todo o círculo de poder, a diferença que na ciência pode-se justificar a desigualdade pelo recurso da excelência. O que os mecanismos usuais de participação legam, numa estrutura marcada pela dependência e interrupção da dialética, é a oxigenação no *‘centro-na-periferia’*, com algumas oportunidade de *‘escuta’* nos quais os melhores são convidados a manifestar suas aspirações e elaborar documentos autocongratatório, na expectativa de que *‘falando do pedestal’* manifestam a paridade com o centro e, pela via da retórica, de uma performatividade utilitária para influir nas decisões de investimento.

O Brasil, a América Latina, sempre foi vista como subalterno, nunca foi visto como parceiro. Com a história dos Brics, a gente tem uma oportunidade de se colocar para igual, com a possibilidade de parceria e transferência tecnológica. Então, a gente consegue lutar para uma soberania tecnológica, mas a academia brasileira precisa descer do pedestal. Achar que a gente colabora com os Estados Unidos, com a Europa, estamos iguais? Não somos iguais. Eles nunca nos viram de igual para igual, essa é a verdade, é dura de dizer, mas é a verdade. Então, é aquela coisa, a gente tem é que remar contra a correnteza, talvez remar para outra direção, porque a que estamos não nos trouxe grandes coisas. (Entrevistado 9)

O sistema de CT&I no Brasil não é só avesso ao risco, é avesso ao debate consequente dos problemas e das raízes que o torna trágico. Isso se deve, em grande medida, a adesão à crença de que por serem pares do ‘centro’ (Estados Unidos, Europa, Canadá) podem fazer política pública tal como o ‘centro’. Não surpreende que o efeito estrutural tenha sido praticamente nulo. O centro fala para o capitalismo monopolista, esse é o seu sentido histórico. A periferia fala para quem? As entrevistas indicam para um mercado quase fantasmagórico, o qual nem abre conversa. De um ponto de vista sociológico, a simulação da centralidade têm sido estéril. O voluntarismo dos melhores, representantes da excelência brasileira, é capaz de estabilizar grupos produtivos – o que é um resultado louvável do ponto de vista das biografias pessoais e da formação de recursos humanos – mas derivar da continuidade da fecundidade, meio a um cenário de retração produtiva, a presença de uma transformação de estrutura seria um exagero.

Nesse ponto, a aspiração do controle – que no centro implica capacidade de concentração e competição global – ganha na periferia seu contorno específico, se torna estratégia de sobrevivência para quando o próximo ciclo de retração se iniciar, uma garantia para os melhores de que a volatilidade os atingirá por último. No melhor dos cenários, a possibilidade de ser um ‘parceiro júnior’ em um projeto global que tolhe a dimensão estratégica, que chega pronta. Uma divisão interna que implica proximidade funcional (os centros se beneficiam da dificuldade das periferias em viabilizar a concentração e ganham tração pela assimetria) e um abismo estrutural (a ‘periferia-na-periferia’ como imobilidade epistêmica e tecnológica, onde o “*brain-drain*” começa e se aprofunda). Essa dinâmica condiciona o empreendedorismo dos pesquisadores que arriscam o mercado e ensinam por uma atuação inovadora, já que sem pessoas não há pesquisa, sem pesquisa não há produto ou serviço novo. Num ciclo de retração, o ‘centro-na-periferia’ se fecha na defesa da fecundidade, pois não há razão material que sustente o apelo para uma ponte forte entre ciência e indústria.

As entrevistas e os diagnósticos repetitivos da PCT ressaltam a figura do investidor receoso, desinteressado e imediatista, que quando apresentado a uma agenda de PD&I mais ousada

‘encerra as conversas’ e pede ao pesquisador que encontre os fundos públicos para viabilização e depois o chame. A equação sempre é desfavorável. O pesquisador, representante da excelência, precisa tornar-se o próprio mecanismo de ‘fazer a instituição’, bater na porta das agências de fomento, conversar com o burocratas e encontrar um meio de viabilização que o sistema formal – paradoxalmente diversificado e complexo – não alcança. Enquanto isso, precisa dividir o seu tempo com a estabilização da fecundidade que foi conquistada, as bolsas para seus orientandos, os recursos para pesquisa, viagens e publicações, para se manter competitivo e garantir um lugar a mesa e, com sorte, um acesso prioritário a um recurso que faça a diferença na sua realidade. Se tiver habilidade política e fortuna (no sentido político, de Maquiavel), talvez tire do papel algum empreendimento e crie uma *startup*, mas logo os problemas estruturais o alcançam: a máquina de travar burocrática; os custos de importação e certificação; a falta de fornecedores locais. No mercado global os acessos diferenciados provar-se-ão inábeis para resolver a estrutura.

Assim, o que era fecundidade, e chegou no limiar da significância como uma potencialidade, torna-se uma entidade suspensa e aspiracional. O pesquisador aprende que pegará um custo muito alto caso insista num empreendimento complexo e com profundidade tecnológica, que talvez seja melhor retornar para os limites seguros da pesquisa científica “desinteressada”, ou buscar um nicho mais palatável, o qual apresente uma perspectiva de faturamento imediato, ou levar a sua ideia para um outro lugar, no qual as engrenagens do capitalismo e do militarismo alimentam os fundos de capital de risco e pressionam os Estados, através do discurso do interesse nacional e estratégico, estabilizando a corrida disruptiva.

No Brasil isso não ocorre, nossa institucionalidade é marcada pela reversão das conquistas pelas mãos dos liberais. Troca-se de governo, vira-se a chave e o ciclo de expansão estanca, vira austeridade em poucos meses, quando não semanas. Os planos de longo prazo são contingenciados e dimensionados para o mínimo, de modo a não provocar a ira da alta finança. A aspiração de arriscar em áreas de fronteira cede lugar para estratégias mais seguras, de atualização, com foco na sobrevivência de quem já está no topo. Com isso, os embriões pontuais, que poderiam ensejar reformas e servir de exemplo de ascensão, perdem o seu vigor e logo adquiridos pelo capital estrangeiro ou desaparecem.

Práticas	Ponto em que a dialética é interrompida
Identidades	Comunidade científica reconhecem excelência interna, mas carecem de meios para endereçar justiça, equidade e autonomia.
Instituições	Arranjos normativos garantem aceitação epistêmica, mas cortes e instabilidade restringem a aplicação social.
Discursos	Retóricas enfatizam o “impacto”, mas instrumentos liberais não internalizam riscos nem valores públicos como objetivos nacionais.
Representações	Imaginário do “país do quase” legitima a convivência de ciência forte com baixa significância socioeconômica e sem projeto alternativo, a não ser a inserção.

Quadro 10: A dialética segundo as práticas/ordens de coprodução.

Fonte: Elaboração própria. Baseado em Jasanoff (ano)

9.2. Centro-na-Periferia

Observou-se que, conectando os resultados da análise coproducionista à teoria dos valores, que há aspectos que interrompem o reforço mútuo entre valores cognitivos e sociais. Primeiro porque há uma distância entre excelência e autonomia tecnológica, mas também um afastamento da população – no contexto brasileiro, uma segregação de acesso profunda. Faltam os incentivos para a tradução da excelência em bens públicos e as regras do mercado e a desigualdade entre países desempenham um papel na manutenção disso. Apesar da estrutura dependente, há pontos de maior densidade, alguns contínuos há década, e certamente as instituições líderes lograram emular, ainda que precariamente, o padrão global com condições para pesquisa de alta complexidade. Ocorre que, por operarem num contexto marcado por arranjos locais frágeis, quando não um vazio, precisam ancorar a fecundidade numa disposição para ceder – a *startup* que, em troca do recurso, cede o controle estratégico – ou se silenciar sobre valores como soberania e autonomia – a ‘empresa nacional de tecnologia’ que mais parece um braço estrangeiro.

Durante um tempo esperou-se que a internacionalização levaria a uma ciência e pesquisa de maior impacto. A abertura para a competição traria ganhos generalizados, até para os grupos mais “atrasados”, a “periferia-na-periferia”, facilitando o acesso e, com o tempo, um domínio territorializado das ondas tecnológicas. Foi isso que os liberais prometeram nos anos 90, porém as desigualdades de acesso são tão substantivas hoje, se não maiores, do que eram 30 anos atrás. Kleba (2006) denunciou essa retórica tecnocrática que prometeu a “idade da fartura” sob condição de esperar pela transferência de tecnologia do centro.

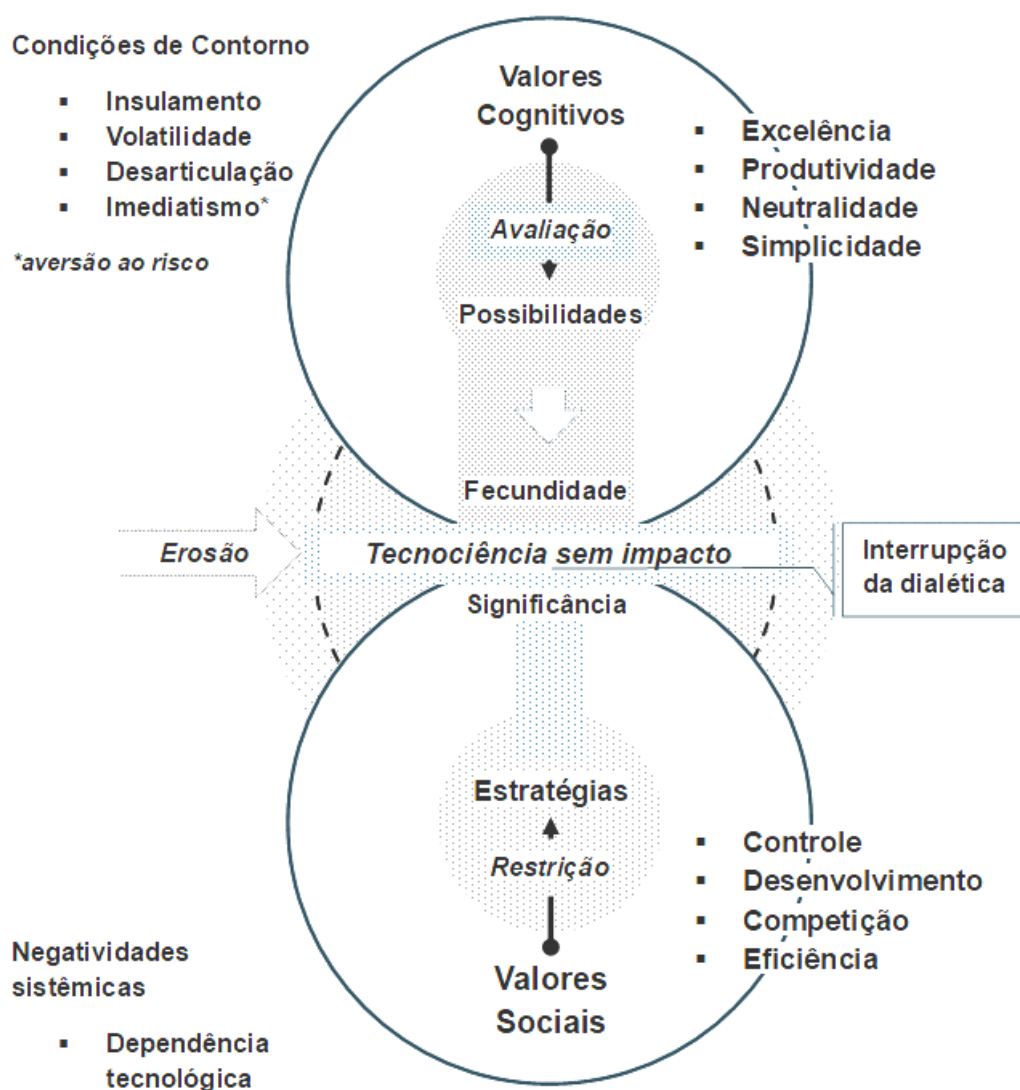


Figura 5: Interação entre valores sociais e cognitivos na produção científica (modo periférico). Esquema inspirado em Lacey, representando a dinâmica entre valores cognitivos e sociais na constituição de estratégias e possibilidades, resultando num plano mais estreito de legitimidade, suscetível a erosão e interrupção.

Fonte: Elaboração própria com base em Lacey (2008).

Nas periferias a profundidade das incursões da fecundidade não se liga às estratégias que legam significância. O esforço de legitimação internacional força os pesquisadores ao alinhamento com agendas e modas do centro, gerando uma “neurose de pertencimento” que estreita temas e métricas de avaliação. O discurso resulta em ansiedade. Publicar em periódicos globais, condição para ‘ter o relatório aprovado’ e por consequência o fomento, é mais importante que solucionar problemas, reforçando o hiato fecundidade-significância, pois subordina a seleção do que conta aos critérios de prestígio exógeno, como o que as grandes editoras querem que seus autores publiquem.

Esse discurso anestesiou a comunidade de pesquisa, suspendendo as expectativas transformadoras a sociedade ao deslocar o problema para a inserção, sempre adiada e a fazer. O centro passa a ser o futuro da periferia, mecanismo que Mignolo (2017) chamou de “colonização do futuro”. Na prática, toda crítica à subordinação é rotulada como romântica e políticas convertem-se em programas de capacitação destinados a “amansar” os técnicos locais para operar os sistemas concebidos fora. Se consome, mas não se participa do desenvolvimento. Mignolo (2017) argumenta que não há modernidade sem colonialidade: a expansão europeia, desde 1500, instituiu uma ordem capitalista monocêntrica legitimada uma retórica que naturalizara a conversão da vida em recursos dispensáveis. Anibal Quijano (1992), citado por Mignolo, conceitua esse processo como “*matriz colonial de poder*”, estruturada em cinco domínios interligados, todos racial e patriarcalmente codificados. Toulmin (1990), outra referência de Mignolo, mostra que, sob a razão instrumental moderna, persistiu um “rio humanístico” oculto e subordinado.

Carvalho (2000) argumenta que a cisão moderna entre cultura científica, dominada pela tecnociência, e humanidades agravou a subordinação da natureza, gerando uma “geopolítica do caos” em que o moderno já não coincide com o humano. A autonomia do capital global enfraquece os Estados-Nacionais e multiplica as ausências sociais, além de deslocar a colonização para o interior da vida. Carvalho (Ibid.) descreve a tecnociência como “megamáquina” que converte a natureza em laboratório. O discurso promete prosperidade, mas não questiona ausências sociais ao tratá-las como externalidades temporárias do progresso.

Kreimer (2021) mostra que as pesquisas periféricas são apresentadas mediante promessas de futuro. Contudo, tais promessas se coproduzem em redes industriais sediadas no núcleo; o conhecimento gerado localmente é “industrializado” onde já existe capital de risco, cadeias logísticas e regimes de propriedade intelectual estabilizados. O discurso cumpre, portanto, uma dupla função. De um lado angaria legitimidade na periferia, mas desloca a captura de valor para o centro, reiterando a separação entre valores cognitivos (produzir dados e protótipos) e valores sociais (acesso, autonomia).

Boaventura Santos (2016) descreve cinco monoculturas: do rigor, do tempo linear, da naturalização das diferenças, do universalismo abstrato e do produtivismo capitalista, que juntas compõem a “*linha abissal*”. Quando políticas periféricas adotam sem mediação conceitos como *triple-hélice* e capital de risco reforçam a monocultura do universalismo, da inovação “relevante” como padrão central. Ecologias de saberes locais (agroecologia, saúde coletiva)

passam a ser classificadas como “improdutivas” ou “pouco escaláveis”, o que legitima cortes orçamentários onde a significância é maior. Assim, a monocultura age como filtro discursivo que inviabiliza estratégias contextualizadas e consolida a interrupção no momento da escolha de agendas.

Por exemplo, após quarenta anos de integração europeia, Espanha, Itália, Portugal e Grécia, apresentam cadeias locais desarticuladas pelo influxo de bens intermediários alemães e asiáticos, enquanto as políticas do bloco exigem disciplina fiscal. O resultado é um mosaico de plantas de montagem com reduzida ancoragem tecnológica. Nas métricas de P&D, patentes e valor adicionado manufatureiro, a distância face ao núcleo germânico cresce desde a década de 1990. (Simonazzi, 2020)

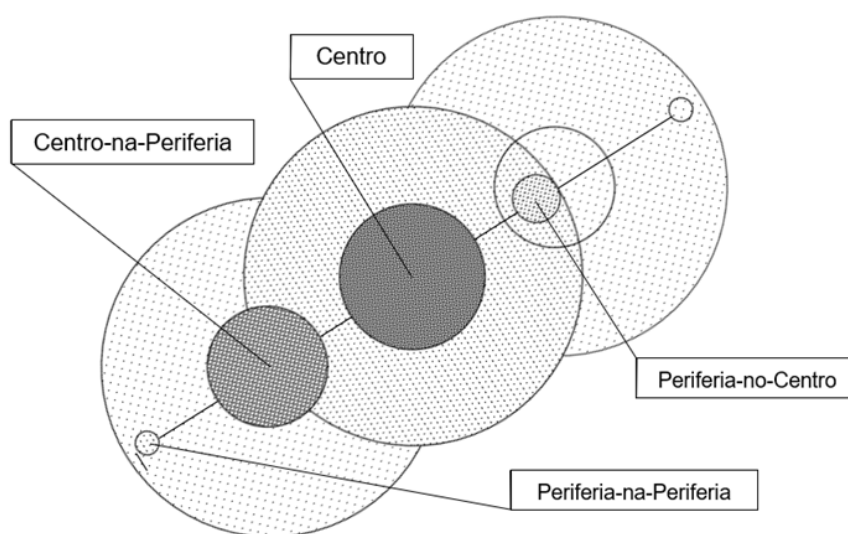


Figura 6: Representação visual do esquema ‘duplo-interno’ para a relação Centro-Periferia.
Fonte: Elaboração própria.

As estratégias de emulação do controle nas periferias lograram alguns sucessos e incontáveis fracassos e os fatores que influiriam são muito diversos, subjetivos (voluntarismo) e institucionais (crises políticas e econômicas). Cada ciclo institucional foi acompanhado de um “fazer discurso”: “*science-push*”, “*demand-pull*”, “*SNP*”, “*indústria 4.0*”. Velho (2011) mostra que, na América Latina, esses rótulos são transpostos por via normativa sem mediação, tornando-se *slogans* que mascaram continuidades estruturais. O discurso de convergência global legitima a retórica de reformas, mas não sustentam financiamento ou estabilizações institucionais, perpetuando a oscilação avanço-recuo.

A pesquisa realizada no campo das ICCs, para a realidade nacional, revela um grau de centralidade menor, ainda assim com formações que no contexto regional, a nível de América

Latina, são relativamente centrais. Isso significa, do ponto de vista dos valores cognitivos, uma autopercepção da fecundidade que tende a ser equiparável ao centro, mas quase desprovido de impacto social, a não ser pela via da experimentação não estabilizada. Sendo uma relação dinâmica, a condição de periferia pode ser superada, da mesma forma o centro pode ser descolado, a exemplo da emergência chinesa, que não foi aqui explorada, que ameaça a liderança estadunidense inconteste.

Grosso modo, a preservação do referente dicotômico e não adoção de um conceito mais simétrico, como a de redes, justifica-se pela história de dominação e colonialismo que fincou estruturas resistentes na América Latina. Elas não foram superadas e, apesar das mudanças, conserva utilidade descritiva. Ainda que a pretensão da análise não seja revolucionária, de uma ruptura com o capitalismo, ela não se silencia sobre as relações de poder, algo que o conceito de simetria é hábil em camuflar como algo mais ou menos homogêneo. A linha que separa centro e periferia é mais bem demarcada pela referência à capacidade de agenda estratégica e por consequência com os valores sociais do que o conhecimento em termos de fecundidade local. No centro, a relação entre controle e excelência é alinhada por condições de contorno vantajosas, de capitalismo e militarismo, que diluem o risco em visões de futuro recompensadoras. Ou seja, os casos limítrofes, as fragmentações (a ‘periferia-no-centro’ e o ‘centro-na-periferia’), não anulam a existência de alteridades que, quando comparadas, são atualizações de dinâmicas bem antigas.

Precisamos de um humanismo sociológico que seja mundano e crítico, que confronte a violência, a desigualdade e o legado colonial que deixou feridas profundas no tecido social. Não deve ser um humanismo tradicional, tampouco uma variante do niilismo. Frente ao risco crescente da aniquilação mútua a saída é construir a paz através das palavras em vez da força, sem com isso esquecer que, enquanto coletivos, o luto é mobilizador. Aqui entendemos a política tal como Hannah Arendt (2005), como esfera da ação, da pluralidade e na natalidade, espaço que permite a humanidade alcançar pela cultura a imortalidade dos ideais e grandes feitos, em oposição ao ciclo de vida e morte que a sobrevivência pura que a guerra implica. O desafio crescente é superar a condição de solidão, forjada na crise da *polis*, que apesar de conectado está paradoxalmente isolado, como habitantes de um deserto.

9.3. Para reatar a dialética – um desafio ancorado no CEIS

A alternativa para a volatilidade dos investimentos seria atrelar a inovação aos bens públicos. Trata-se de um discurso emergente na PCT brasileira e uma boa novidade. Parte da comunidade de pesquisa, incluindo os entrevistados, manifesta um temor de que as tecnologias emergentes possam desestabilizar ainda mais o tecido social, aprofundando a vulnerabilidade geopolítica e a fragilidade econômica do país. Esse discurso revitaliza o imaginário sociotécnico porque tira do centro a expectativa de convocar um empresariado que está ausente e coloca a população brasileira como fim. O desenho do CEIS (Complexo Econômico-Industrial da Saúde) e das Missões (Nova Indústria Brasil – NIB) são exemplos positivos e potencialmente transformadores no ‘fazer instituições’. As missões propostas pela NIB são abertas, arriscando um enquadramento, adequadas para o que Lacey e Miroconda (2014) chamaram de ‘*pesquisa multiestratégica com vocação emancipadora*’. No entanto, para o pleno alcance, precisamos saber quais os desafios práticos e formular um desenho elaborado sob medida. O modelo ciência-valores que os Lacey e Miroconda (Ibid.) propõe e que o presente trabalho atualiza, combina pluralismo estratégico com orientação para bens públicos. Na prática isso implica que: (i) o diagnóstico deve esclarecer quais são os valores sociais que orientam a escolha estratégica; (ii) a execução deve ser multicêntrica, de modo a difundir o conhecimento, e estimular parcerias horizontais; (iii) o monitoramento participativo, incluindo nos painéis de especialistas e cidadãos, que levem em conta ganhos de acessibilidade, pertinência e sustentabilidade.

Nova geração de sensores para o SUS

Nessa costura entre NIB e pesquisa multicêntrica, o CEIS é contranarrativa à tendência dominante. Ao alinhar SUS, Universidades e Institutos às linhas de fomento direcionadas, o CEIS tornar-se uma institucionalidade para elevar a pesquisa, produção local e criar empregos qualificados, superando o voluntarismo que marca a excelência na periferia. Segue abaixo uma proposta de desafio tecnológico que busca dialogar com esse esforço:

Fase 1: Seleção de projetos inovadores para componentes e sensores, com diversidade de orientações e conceitos, objetivando a integração, o baixo-custo e integração hardware-software (IA) para os problemas de acessibilidade do SUS, sob um programa guarda-chuva.

- Os projetos devem estar ancorados num com órgão e liderança técnica responsável pela supervisão e avaliação dos resultados, com autonomia para gerenciá-los com rapidez.
- A liderança do programa seria mais adequada se exercida por um líder de postura híbrida, com reputação acadêmica mais experiência no mercado de dispositivos médicos.

Fase 2: Validação clínica e multicêntrica dos melhores projetos, com uso dos hospitais-escola e campanhas para municípios remotos, intensificando parcerias a nível nacional.

- Os projetos que avançarem para a validação precisam buscar convergências para habilitar inovações, usando de bases com padrões compartilhados.
- Com a maturidade, deve-se esperar a elaboração planos temáticos de longo prazo para sensores, componentes e dados, conferindo previsibilidade a P&D.

Fase 3: Se protótipo representativo for demonstrado, apoio para a industrialização, como montagem e manufatura dos sensores e sistemas e formação de Design Houses.

- O apoio deve estar condicionado a metas de irreversibilidade.
- Os spin-offs precisam ter um estatuto social que se alinhe aos objetivos de acessibilidade do SUS e inclusão social.

Não se trata de nacionalizar *toda* a manufatura e sim viabilizar produtos com design nacional, com uma agenda tecnológica para objetivos sociais. Entretanto, sem um compromisso que atrele a PI aos bens públicos, a criatividade brasileira pode converter-se em valor capturado pelo capital estrangeiro, com aquisições integrais de *spin-offs*. Por isso, a avaliação do desafio precisa estar pautada em irreversibilidades como:

- i) validação clínica no SUS com impacto no diagnóstico e assistência médica da população, e economicidade;
- ii) absorção de mestres e doutores nos projetos de inovação;
- iii) apoio para empresas nacionais de design e software;
- iv) plano de viabilização, a longo prazo, da manufatura local dos sensores.

Há órgãos de fomento, tradicionais (Finep, BNDES) e novos (Embrapii) que poderiam exercer a liderança de um programa dessa natureza. Contudo, dada a convergência que se espera com o setor privado, é mais apropriado o protagonismo da Embrapii, que já possui estrutura organizacional e metodologias consolidadas.

Quadro 11: Proposta de desafio tecnológico para o setor de instrumentos médicos, com foco em sensores.
Fonte: Elaboração própria.

A resolução de um ‘*desafio para sensores em saúde*’ deveria ter um horizonte temporal longo, com a possibilidade de o financiador encerrar os projetos que não apresentem avanços ou de renovar por mais um ciclo projetos promissores (algo parecido como o modelo da agência norte-americana DARPA). Um artifício jurídico, para proteger a PI nacional resultante, principalmente o *design* dos componentes, seria a exigência de *golden shares* em eventuais *spin-offs*, de modo que o centro decisório da P&D e estratégia continue no Brasil, mas sem penalizar a participação das empresas brasileiras nas cadeias globais de fornecedores. Assim, a participação de estrangeiros não desvirtuaria o objetivo, abrindo caminho para *joint-ventures* – a exemplo entre países membros do Brics.

Para formular a rota inicial, na Fase 1, é preciso antes ter clareza sobre os seguintes aspectos:

Dimensão	Perguntas-chave	Indicadores sugeridos
Problemas de saúde pública	Quais condições médicas se beneficiariam com um desafio tecnológico em sensores?	Incidência de AVE, depressão, epilepsia; pacientes distantes de centros de diagnóstico; possibilidade de telediagnóstico.
Impacto em serviços atuais	Que ganhos de prevenção e diagnóstico o SUS obtém? Qual o ganho de sustentabilidade?	Redução tempo-diagnóstico, custos por paciente, medicina preventiva; geração de externalidades
Cadeia de fornecedores	Existem empresas nacionais capazes de fornecer sensores ou componentes? A atração de multinacionais é uma opção?	Mapa de startups e empresas montadoras, TRL de protótipos, redução da dependência de componentes importados
Inclusão e reabilitação	Como sensores mais computadores e robótica podem ampliar assistência domiciliar para pacientes com deficiência e doenças neurológicas?	Cobertura territorial, número de sessões de reabilitação, pessoas atendidas, inclusão no mercado de trabalho.

Tabela 12: Questões orientadoras do Desafio.
Fonte: Elaboração própria.

Compartilhamento de infraestrutura pública, como laboratórios universitários e hospitais-escola podem validar sensores e protocolos clínicos, de modo a atingir metas de inclusão social. Com isso, objetiva-se criar elos estáveis entre universidades com pequenas e médias empresas nacionais com potencial de crescimento, condicionando o apoio às metas de irreversibilidade. O *programa-desafio* precisa abranger pesquisas clínicas completas e prever, caso bem-sucedidas, a possibilidade de certificações e compras públicas ancoradas na acessibilidade – redução dos custos, principalmente – de modo a ancorar as empresas emergentes em *medtech/deep-tech* ao SUS. Para isso, as empresas precisam de capacidade de absorção, ou seja, PD&I interna, com líderes experientes e formação avançada.

Vias complementares para criar um contorno favorável à manufatura

A superação da interrupção exige uma resposta articulada que combine ação com demanda. A seguir, apresentam-se três vias complementares, concebidas para transformar a atual trajetória de consumo de instrumentos médicos em aprendizado, bem como o arcabouço de políticas capaz de sustentá-las.

i. Da montagem ao aprendizado tecnológico – ponte Brasil-Ásia-Brics

A ascensão de China, Japão, Coreia do Sul e Índia abre a possibilidade de atrair parte de cadeia de valor para o território brasileiro. A curto prazo, zonas industriais ou regimes especiais de tributação poderiam internalizar etapas de montagem de média complexidade, reduzindo prazos logísticos e exposição cambial. Para que essa modalidade não se converta numa “*maquiladora*”, os contratos de investimento devem conter cláusulas progressivas de sofisticação – valendo-se de mecanismos como créditos fiscais, com algum componente de risco. Compras públicas do SUS, associadas com exigências de engenharia nacional mínima (PPB) também são fundamentais.

Apesar de reduzirem o “custo-Brasil”, os atuais créditos fiscais perpetuam uma inserção dependente das estratégias de mercado das sedes, pois amarram o crédito ao volume de manufatura para atender o consumo doméstico. Esse desenho produz poucas *spin-offs*. Para converter tais instrumentos em alavancas de autonomia, propõe-se: (i) desvincular parte do crédito da produção física e atrelá-lo a metas (patentes prioritárias, participação em programas nacionais); (ii) estimular contratos de longo prazo que incorporem cláusulas progressivas de sofisticação, e (iii) introduzir mecanismos que incentivem o risco, como um prêmio para avanços mensuráveis, de modo a empoderar atores locais.

ii. *Licenciamento qualificado de empresas tradicionais – ponte Brasil-EUA-Europa*

A perda relativa de mercado de fornecedores norte-americanos e europeus poderia criar alguma margem de negociação para o Brasil condicionar o acesso ao seu grande mercado a acordos de transferência de tecnologia. Porém, dado o nacionalismo crescente, numa reação às economias emergentes, parece ser uma rota fragilizada. Tais acordos devem pressupor modelos contratuais que protejam o desenvolvimento nacional e estimular a participação de universidades e institutos em consórcios para absorção de tecnologia; previsão de *royalties* atrelados à exportação de produtos com maior valor agregado; e adoção de encomendas tecnológicas que priorizem lacunas críticas do SUS (diagnóstico por imagem, monitoramento neurofuncional).

iii. *Serviços de alta especialização para a América Latina – Ponte Brasil-América Latina*

Inspirado nos casos de México e Costa Rica, mas sem replicar o modelo de baixo custo, o Brasil pode alavancar a capilaridade do SUS, seus centros clínicos universitários e a infraestrutura regulatória da ANVISA para tornar-se hub de serviços tecnológicos e PDI. Ensaio clínico acelerado, validação de conformidade ISO e prototipagem regulatória configuram nichos exportáveis para produtores latino-americanos. Esse ecossistema, fundamentado em desafios tecnológicos, aliado a programas de bolsas de residência tecnológica (estágio em empresas estrangeiras seguido de retorno obrigatório) e de mestrado e doutorado (inclusive para atrair pesquisadores de países vizinhos), cria condições para o florescimento de startups de dispositivos médicos e ICCs com vocação regional e global.

Quadro 12: Outros instrumentos de política pública.
Fonte: Elaboração própria.

9.4. Desdobramentos futuros da pesquisa

A noção de interrupção da dialética emergiu, ao longo do trabalho, como chave interpretativa para compreender a tensão estrutural do desenvolvimento das ICCs no Brasil. Ela manifesta o paradoxo entre a fecundidade e a significância. Os resultados empíricos apontam para a existência de “ilhas de excelência” com protótipos funcionais e publicações de alto nível, mas desconexos dos arranjos produtivos, o que impede que tais conquistas se convertam em benefícios amplos para a sociedade. Destaca-se a ausência de capital de risco e um ecossistema mais diversificado e voltado às neurotecnologias no Brasil.⁷⁵ Sem investimento ou mecanismos

⁷⁵ O ecossistema nacional reúne iniciativas acadêmicas (BRAINN-Unicamp, INCT-NeuroTec-R-UFGM, ISD/INN-ELS) e empresas emergentes — Brain4Care (sensor de pressão intracraniana), Neurobots P&D

sustentáveis, além das agências públicas tradicionais, os protótipos ficam restritos ao ambiente científico. Sem pontes efetivas a alta fecundidade técnica raramente se converte em inovação concreta. Consolida-se, assim, um arranjo em que o controle tecnológico permanece aspiracional, com polos isolados em um panorama geral de dependência de instrumentos médicos. Paralelamente, no plano simbólico, identificou-se adesão parcial ao imaginário da disrupção tecnológica. Os pesquisadores brasileiros não estão alheios às narrativas de inovação radical e *hype* midiático impulsionado por *startups* estrangeiras. Contudo, essa adesão mostrou-se ambígua e filtrada pelas condições locais.

De um lado, os entrevistados reconhecem o potencial disruptivo das ICCs, compartilhando visões otimistas de longo prazo sobre o uso comercial e não apenas médico, entendendo que a atenção global pode atrair investimentos. Por outro, manifestam uma postura crítica e realista, conscientes das limitações técnicas e institucionais. Essa recepção seletiva é resistência coproduzida em contexto de escassez. Ao recalibrar as promessas disruptivas em favor de objetivos clínicos realistas, a comunidade brasileira de ICCs não rejeita o imaginário global, porém filtra-o pelas condições locais e, ao fazê-lo, coproduz um repertório normativo que o centro, capturado pela corrida competitiva e pelo imperativo do biocapital, não consegue articular com a mesma clareza. A autonomia inclusiva, enquanto valor social emergente, é uma orientação ética que nasce da proximidade com a vulnerabilidade, da convivência cotidiana com pacientes para quem a interface não é otimização, mas restituição. Nesse sentido, ela aponta para uma possibilidade que a dialética dos valores de Lacey antecipa mas não especifica: a de que periferias, precisamente por operarem fora da pressão competitiva que estreita os valores sociais do centro, podem gerar concepções de 'bem' que reatam, ainda que parcialmente, a dialética, nesse caso não pela via do controle, mas pela via do cuidado.

Esta tese demonstrou que a interrupção é traço estrutural, coproduzido nas quatro práticas analisadas: nas identidades suspensas entre excelência e frustração; nas instituições marcadas pelo formalismo sem reforma; nos discursos que simulam centralidade sem dispor dos instrumentos para sustentá-la; e nas representações que normalizam a convivência entre ciência

(neurofeedback para reabilitação), Cycor Cibernética (exoesqueletos guiados por sinais neurais) — apoiadas por mecanismos públicos (Programa SUS Digital) e fundos especializados (Neuro Capital). De acordo com o “Radar Tecnológico: Neurotecnologias” da Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD, 2025), o arcabouço jurídico-regulatório brasileiro já reconhece os neurodados como sensíveis, define dispositivos médicos experimentais e lista cinco “neurodireitos” (livre desenvolvimento da personalidade, liberdade de pensamento, privacidade, integridade corporal e não discriminação). Todavia, o mesmo relatório sublinha a inexistência de capital de risco e de mecanismos privados sustentáveis de fomento às neurotecnologias.

forte e baixa significância. Demonstrou, também, que a interrupção não é absoluta, que há fecundidade real, resistência reflexiva e embriões de reatamento, particularmente quando a inovação se atrela aos bens públicos e à demanda social, como proposto pelo CEIS e pela NIB.

Para as Interfaces Cérebro-Computador e sensores médicos, três rotas de continuidade se destacam: (i) etnografias de laboratório nos principais centros, capazes de captar a dimensão somática que esta pesquisa alcançou apenas por inferência; (ii) estudos qualitativos com voluntários, profissionais da saúde e populações potencialmente impactadas, que complementem a perspectiva dos pesquisadores com a dos sujeitos da intervenção; e (iii) análises de mercado e caracterização dos fornecedores e startups de neurotecnologias atuantes no Brasil, que ancorem empiricamente as propostas de política formuladas. O desafio permanece aberto. A resposta, como a tese buscou demonstrar, será política antes de ser técnica e tanto mais eficaz quanto mais enraizada estiver nos valores que a própria periferia é capaz de produzir.

Metodologia Ampliada – documentos, entrevistas, dados e uso de IA

10. Pesquisa documental – usos da noção de Disrupção no Brasil

A incorporação tardia e superficial da retórica da disrupção no Brasil revela uma tensão. O discurso global celebra rupturas, mas localmente a estrutura produtiva é atrasada, permanece presa a ciclos curtos de financiamento e metas de baixo risco. Disrupção converte-se no Brasil em promessa de controle sem os meios institucionais para realizá-la, reforçando o caráter aspiracional discutido ao longo desse trabalho. Faz-se explícito o conflito entre a busca incessante por significância – medida pelo impacto de mercado e pela ruptura social – e valores como equidade e bem-estar coletivo, sugerindo um ponto de inflexão na dialética entre fecundidade e significância.

O caso brasileiro, conforme a tipologia desenvolvida no Capítulo 2, é definido pela produção relevante e criatividade adaptativa, com uma engenharia e pesquisa reconhecida. Grosso modo, a fecundidade – manifestada na ciência de excelência – compõe uma dialética com dois modos. No modo inserção (centro-na-periferia), as pesquisas, redes e soluções são globais, envolvem colaborações com laboratórios de ponta, com instituições acadêmicas estrangeiras e multinacionais, mas a significância da inovação implica algum grau de subordinação – o núcleo do desenvolvimento tecnológico está fora, a definição sobre o que conta localmente é importada. Há um subtipo com maior autonomia, que desafia a lógica dependente, com sucessos em nichos de alta complexidade, contudo o impacto da participação brasileira nesses nichos é pequena meio ao contexto mais amplo de desindustrialização e desigualdade tecnológica entre nações. Ou seja, a dialética quando ocorre no sentido hegemônico, controle para inserção e competitividade, forma uma composição que favorece a captura ou o isolamento da excelência. No modo da exclusão (periferia-na-periferia) a composição é fraturada, os ciclos de apoio são tão voláteis que interrompem qualquer iniciativa de estabilização, o conhecimento fica “solto” e marcado pela invisibilidade, com *papers* e doutores formados que ficam pelo caminho.

10.1. Emergência do conceito

O imaginário sobre inovação incorporou novos conceitos, com ênfase recente nas “*tecnologias 4.0*”. A forte presença de qualificativos como “estratégico” e “sustentável” sugere uma preocupação retórica recorrente, de legitimar a PCT como algo que transcende a economia, vinculando-se à noção de soberania e bem-estar. A categoria de “risco” ganhou relevância, um indicativo de que os instrumentos e planos começaram a se voltar para a inovação radical. O conceito de convergência tecnológica é de uso pontual. Como mostra o Quadro 13, o vocábulo

“disrupção” só ingressa nos textos oficiais após 2012, mas sem uma definição conceitual. Sua emergência foi mediada por termos preexistentes, como “tecnologias emergentes”, “convergentes”, “habilitadoras”, que já sugeriam ruptura potencial, mas sem assumir explicitamente o risco social inerente.

A inovação tecnológica aparece como vetor dominante, acompanhada de qualificativos que estabelecem hierarquias cognitivas, como “estratégica”, “emergente”, “habilitadora”, “4.0”, “dual”. Áreas prioritárias (TICs, biotecnologia, IA, nanotecnologia, robótica) funcionam como dispositivos retóricos, sinalizando onde o Estado brasileiro pretende exercer controle avançado, ou seja, se inserir globalmente como produtor de tecnociência.⁷⁶ Essa concepção enfrenta desafios práticos: a persistência de uma abordagem linear compromete a reflexividade e a capacidade de ajustes rápidos. Na periferia industrial brasileira, “disrupção” converte-se em símbolo de mudança estrutural progressiva, mas com utilidade marginal, já que carece de instrumentos contínuos que diluam risco privado e sustentem horizontes de 5-10 anos.

Nos centros tecnológicos (EUA, Japão, China), projetos de P&D “core”, ligados à estratégia comercial, chegam a durar uma década, sustentados por capital paciente.⁷⁷ No Brasil, programas como Lei de TICs e PADIS financiam ciclos de no geral 1-2 anos, limitando a ambição de filiais e de *startups*. O resultado é um triângulo assimétrico: ciência de boa qualidade com frágil mercado de alta tecnologia com dependência de plataformas estrangeiras. Exemplo disso é o caso do setor de semicondutores no Brasil: mesmo com avanços importantes, permaneceu “embrionário” devido à falta de missão estatal clara e horizonte plurianual de aplicações e prioridades, ilustrando a dificuldade de transformar conhecimento fecundo em significância econômica e social.

⁷⁶ Estratégico: voltado para a soberania e autonomia nacional; habilitador: impacto transversal ou convergente, em múltiplos setores; emergente: tendência global, nova janela de oportunidade; fronteira: alta sofisticação, complexidade e dificuldade; 4.0: transformação produtiva atual, digitalização; dual: aplicação tanto civil quanto militar.

⁷⁷ Relato de pesquisa de campo (entrevista anônima, 2023): durante visita a uma filial brasileira de empresa japonesa, foi informado que projetos de P&D no Brasil raramente ultrapassam dois anos, ao passo que na matriz japonesa duram até uma década. Segundo gerente de P&D, a concorrência de fornecedores chineses de baixo custo reduz a receita local e inibe investimento em pesquisa; startups nacionais de materiais avançados têm sido adquiridas por grupos estrangeiros quando há hiato de apoio público. Informação colhida pelo autor. Fontes preservadas por confidencialidade.

Fase	Início (não há menções)		Uso implícito (disrupção como mudança radical)			Uso explícito (episódico)	
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
termo de interesse	Desenvolvimento: capacitação e P&D		Desenvolvimento regional, sustentável, da infraestrutura.			Capital Humano.	
	Competição: concorrência global		Competitividade, autonomia, eficiência, internacionalização.			Inserção em mercados globais.	
	Inovação: em TI e automação.		Sistêmica, para o desenvolvimento, colaborativa, radical.			Para a competitividade, sustentabilidade	
		Novidade: software.	Produtos, serviços, modelos de negócios.			Tecnologia espacial	
			Complexidade: burocrática, redes de colaboração, da P&D.			Sistema Nacional de Inovação.	
			Riscos: tecnológicos, inerentes, de mercado, ambientais e sociais.			transformação digital, automação e IA.	
				Tec. Emergentes: Biotec., Nanotec., materiais.		Energias renováveis, saúde, IoT, IA.	
				Tec. Convergentes: Biotec., Nanotec.		TICs, Ciências Cognitivas, fotônica, eletrônica.	
				Revolução: economia digital, energia.		Saúde, educação, manufatura 4.0.	
				Fronteira tec.: P&D avançada.		Competitividade, TICs, sustentabilidade.	
					Disrupção: tec. Espacial.	Tec. convergentes, modelos e plataformas digitais, IA.	

Quadro 13: Evolução dos termos relacionados a inovação e principais contextos de uso.

Fonte: Elaboração própria.

O discurso de disrupção promete romper a inserção periférica, mas, sem financiamento estável e políticas sistêmicas, corre o risco de reforçar dependências. A *Big Tech* captura valor, especulativo, sem dúvidas, enquanto o Brasil arca com externalidades e consequências, vide toda a polêmica envolvendo a regulamentação das redes sociais, criação de um imposto para plataformas e regulamentação da Inteligência Artificial. A superação desse paradoxo requer alinhar valores sociais de equidade e soberania aos valores cognitivos de excelência científica, transformando o controle aspiracional em controle efetivo, ligando a fins que sejam coletivos e que ressoem com os anseios da população brasileira. A análise revela que os valores dominantes (controle, competitividade, desenvolvimento), por si só, são incapazes de promover a transformação que retoricamente se almeja.

10.2. Leis, Estratégias e Políticas

Objetivando caracterizar o entendimento do poder público sobre a noção de disrupção, foi realizada uma busca em um conjunto de documentos importantes para as políticas federais de ciência, tecnologia e inovação. Esse exercício envolveu uma de leitura das menções e registro em um caderno das menções que se enquadravam no tema de interesse dessa pesquisa. O

interesse dessa pesquisa se restringiu a termos com alguma ligação com o tema da disrupção, que inclui a ideia de tecnologias “emergentes” e de “risco”, para citar alguns dos principais.

As primeiras políticas analisadas, na década de 90, enfocavam a competição em um contexto de globalização e abertura do mercado. Dada a necessidade de altos requisitos técnicos e a participação crescente do Brasil no setor, as tecnologias da informação eram um tema central. A ideia de desenvolvimento se deslocou para a formação de pessoal para P&D, amparada por isenções fiscais, com o objetivo de atualizar a indústria e proteger a propriedade intelectual.

Na virada do milênio, com a realização das Conferências Nacionais de CTI, o planejamento de longo prazo e a consolidação do Sistema Nacional de CTI ganharam força. Nesse contexto, os Fundos Setoriais, recentemente criados, foram vistos como uma forma de superar a volatilidade dos investimentos. Houve muitos apelos para a necessidade de constituir um ambiente favorável ao capital de risco, que apoiasse startups e empresas de pequeno e médio porte. O argumento era que os riscos financeiros afastavam os investidores privados, prejudicando a capacidade das empresas brasileiras de experimentar novidades.

Durante essa fase, as políticas se concentraram em informática e automação, com um interesse crescente em biotecnologia. Embora os documentos não mencionem explicitamente o termo "disrupção", havia uma orientação para a P&D que não fosse apenas incremental.

Depois, meados de 2005, a disrupção, embora não mencionada explicitamente, começou a ganhar seu significado atual de forma implícita. Os documentos mencionam um interesse em "tecnologias emergentes", "tecnologias convergentes" e "fronteira tecnológica" para descrever inovações capazes de transformar radicalmente mercados e setores. Nesse contexto, a categoria de risco foi estendida para diversas dimensões além da financeira ou inerente à P&D, como riscos ambientais, de saúde e segurança. Instrumentos como subvenções ganharam importância como um meio de apoiar projetos mais arriscados. Simultaneamente, havia uma preocupação com a mitigação desses riscos, que deveriam ser tolerados em prol de um desenvolvimento social e econômico. Em outras palavras, os documentos buscavam equilibrar o avanço tecnológico com eventuais malefícios.

Na fase de consolidação (2015-atualidade), o termo "disrupção" se torna mais central, associado diretamente a categorias anteriores já mencionadas, como "tecnologias emergentes" e "tecnologias convergentes". Houve um forte enfoque na digitalização e difusão de tecnologias

digitais e plataformas, como a inteligência artificial. Reconheceu-se que as startups constituem uma força motriz para a introdução dessas inovações, particularmente na indústria.

No contexto brasileiro, o significado de "disrupção" parece ser uma combinação de ideias associadas à convergência tecnológica e tecnologias emergentes, com um debate acerca dos riscos muito associado aos temores e oportunidades derivadas da digitalização. Em sua origem, aparece ligada ao contexto da pesquisa espacial.

Registros detalhados de pesquisa

Lei de Informática-TICs (1991)

A Lei de Informática foi criada para capacitar empresas brasileiras de informática e automação, inserindo-as, através da pesquisa e desenvolvimento (P&D), no cenário internacional. Desde sua formulação, a intenção implícita era alçar o país a uma posição de liderança. Para isso, as isenções de impostos (principalmente no IPI), em troca de um investimento mínimo em P&D no Brasil, deveriam viabilizar um ciclo virtuoso. Previa-se a combinação com outros instrumentos, como licitações e “programas progressivos de exportações”. O diagnóstico que fundamentava a Lei era de que o setor de informática, carente de P&D, poderia ficar para trás frente ao aumento da concorrência e mudanças tecnológicas.

Em 2004, houve uma reforma da Lei que estendeu sua validade até 2019, reforçou a exigência de P&D com critérios e fiscalização mais rigorosos e ampliou o escopo para abarcar novas tecnologias e serviços. Também estabeleceu a necessidade de parcerias com institutos e universidades. Em 2019, houve outra reforma que substituiu a isenção pelo crédito financeiro e introduziu a figura da auditoria privada, visando promover maior agilidade e segurança jurídica no processo de avaliação do P&D apoiado.

O texto não menciona o conceito de Disrupção. A Lei não é prescritiva no tocante aos tipos de inovação e P&D apoiados. Num sentido mais implícito, inovação é uma atividade empresarial que contribui com a autonomia tecnológica do país, envolve um grande ônus para a empresa e, para prosperar, exige esforços para reduzir custos.

Lei de PI (1996)

A Lei trata da concessão de patentes, modelos de utilidade, registros de marca e medidas contra concorrência desleal no Brasil. Os critérios para a concessão são, grosso modo, novidade, originalidade, atividade inventiva, aplicabilidade e, no caso de um desenho industrial, nova

forma ou configuração. Prevê a possibilidade de licenças compulsórias em caso de emergência e abuso de mercado.

A palavra Disrupção não é utilizada, nem a noção de risco. Inovação, nesse texto, envolve principalmente novidade ou o ato inventivo que é incomum, não é uma modificação e tampouco trivial.

Lei do Software (1998)

O software, no Brasil, é protegido como uma obra literária, cujo titular pode autorizar ou proibir o aluguel, por 50 anos. Essa proteção não depende de registro e é automática. No caso de ter sido desenvolvido com recursos de uma contratante, os direitos pertencem a ela. Prevê direitos aos usuários, como suporte técnico, bastando o documento fiscal para provar a licença, penalidades criminais e civis contra quem desrespeitar a Lei. Sua validade se estende para países que tenham direitos equivalentes. É tratado como uma obra literária porque a programação é semelhante à escrita textual e implica composição lógica e criativa. Nesse contexto, inovação em software implica um novo conjunto de instruções para operar uma máquina, em linguagem natural ou codificada, baseado em técnica digital ou analógica.

Não há menção à palavra Disrupção ou risco.

Livro Verde (2000)

O Livro Verde antecede o Livro Branco, sendo uma espécie de documento preparatório. Nele é argumentado que, para desenvolver o país, o papel da CTI no Brasil precisa ser ampliado, amparado por um planejamento efetivo de longo prazo, com uma gestão pública moderna e um setor privado engajado em parcerias. Dada a dimensão continental do Brasil e as diferenças históricas, políticas e econômicas que implica, a concentração regional, junto à falta de coordenação, aparece como o principal desafio. No que toca ao financiamento, o baixo investimento privado e a volatilidade dos recursos públicos formariam um ambiente pouco sustentável. Entretanto, a criação dos Fundos Setoriais (FNDCT), no final dos anos 90, traria alguma previsibilidade para projetos de longo prazo, alinhados com prioridades nacionais. A falta de clareza sobre quais são os papéis das agências responsáveis pelo fomento e como podem complementar umas às outras e monitorar os resultados agrava o problema. No tocante às instituições executoras, como institutos e universidades, a burocracia rígida resultaria em atrasos e desinteresse por parte das empresas.

Não há menção a Disrupção no documento, embora a noção de risco esteja muito presente, especialmente associada ao contexto de formação de um ambiente de capital de risco no Brasil, para apoiar startups e empresas de base tecnológica (EBTs) e, pelo investimento público, a mitigação do risco. Outras dimensões desse conceito incluem: dependência tecnológica; introdução de novidades, criando problemas de regulamentação e segurança; instabilidade, com a transformação de setores e mercados. Num sentido mais amplo, a inovação é um processo complexo, multidimensional e colaborativo, que visa a transformação do conhecimento para desenvolver o país e torná-lo competitivo.

Livro Branco (2002)

O Livro Branco foi um guia estratégico para o período de 2003-2013, com prioridades e direções para o Sistema Nacional de CTI, com foco em sua consolidação, regionalização e importância para o desenvolvimento de longo prazo. O tema da consolidação significava promover colaborações mais estreitas, inclusive de acesso a infraestrutura e circulação de informações, que incluíssem a iniciativa privada. O principal entrave para isso seria a instabilidade financeira do país, que desestimula os investimentos. Do lado das instituições de CTI, haveria uma estrutura obsoleta, pouco adaptada à “economia do conhecimento”. Também trouxe um enfoque para a formação de especialistas nas áreas de biotecnologia, tecnologia da informação e energia. Apesar das dificuldades, a capacidade de inovação do Brasil estaria emergindo e, no cenário global, estaria numa posição intermediária e boa quando comparada à de outros países em desenvolvimento. O documento menciona avanços como o crescimento da produção científica (artigos), de mestres e doutores e reconhecimento internacional e recomenda o fortalecimento das ações de capacitação.

No texto não há menção à noção de Disrupção, mas apresenta uma caracterização multifacetada de riscos. Eles podem estar associados à: complexidade das redes de atores (colaboração, interdependência, concorrência); a difusão de novas tecnologias; a volatilidade do financiamento; a desigualdade crescente entre países; as particularidades inerentes à P&D, principalmente a percepção dos riscos de mercado. Nesse último ponto, o Livro menciona a necessidade de criar um ambiente institucional favorável ao capital de risco, para estimular startups e elevar os investimentos em P&D.

Política Industrial e de Comércio Exterior (2003)

O problema central identificado pelo documento é a capacitação de pessoas e as dimensões relacionadas com isso, como absorção de tecnologia. Outras questões importantes foram o foco na integração entre atores e ajustes nos incentivos fiscais. O diagnóstico do documento ressalta as condições desfavoráveis para a indústria brasileira nos anos 90 e as dificuldades, por parte do governo, em implementar as políticas desenhadas. A condição estrutural da época era de instabilidade econômica, reformas (Plano Real) e abertura do mercado nacional para importações.

A importância decorrente da capacitação está relacionada ao objetivo de tornar o país competitivo e inserido no contexto global e à dificuldade de o Brasil acompanhar as mudanças rápidas na indústria e absorver novas inovações. Absorver, no documento, significa licenciar, adaptar e aperfeiçoar tecnologias com vistas a uma maior autonomia nacional. Essa necessidade esbarraria na baixa alocação de recursos financeiros em inovação, particularmente a baixa participação do setor privado, o que coloca o Brasil muito atrás dos investimentos realizados pelos países ricos.

Dada a dificuldade que envolve uma expansão do orçamento para CTI, o documento ressalta a urgência de buscar sinergias, evitar sobreposições e atuar sobre as lacunas. É dito que o padrão de financiamento é fragmentado e, por isso, exige uma extensa articulação da capacidade administrativa do Estado (incluindo os temas de infraestrutura e desenvolvimento regional). Ao mesmo tempo, os mecanismos existentes, como incentivos fiscais, seriam demasiadamente complexos, o que prejudicaria o acesso. frente a isso, é feita a recomendação de descentralização para níveis e arranjos mais locais.

No horizonte mais imediato, previa-se um foco na eficiência produtiva para, assim, expandir as exportações. Já destaca a importância de um Sistema Nacional de Inovação (SNI) fortalecido para atrair investimentos, particularmente para setores prioritários como semicondutores, software, fármacos e bens de capital.

Não há menção ao conceito de Disrupção, embora se fale de reestruturação dos complexos industriais com novas tecnologias, idealmente puxada por Pequenas e Médias Empresas (PMEs). Entretanto, a preocupação central não é a novidade e sim o ganho de eficiência e a competição em preços. As menções para “risco” estão relacionadas ao contexto de mercado, no sentido de avaliar as incertezas que uma política de modernização industrial traz. Já o conceito

de inovação, mais amplo do que o de Disrupção, significa absorver e adaptar tecnologias avançadas já existentes e desenvolver o novo para competir nos mercados globais.

Lei de Inovação (2004)

O foco da Lei é a Inovação e P&D no ambiente produtivo e, tal como as políticas anteriores, menciona como objetivo maior o desenvolvimento e a autonomia. Outros objetivos foram: maior previsibilidade/continuidade dos projetos; descentralização e redução das desigualdades regionais; colaboração entre institutos e universidades com empresas. Traz uma visão sistematizada dos mecanismos (subvenções, participação societária, ambientes de inovação, mercado de capital e parcerias estratégicas) e diz, no tocante à PI, que ela pertence à universidade, instituto ou empresa, na proporção de sua participação e que o setor público pode condicionar a sua participação à previsão de licenciamento. Além disso, as criações de interesse público só podem ser licenciadas a título de não exclusividade.

Não há menção a Disrupção ou risco, exceto na redação de 2016, na qual a Lei passa a prever contratação direta de ICT ou empresa para a realização de P&D que envolva risco tecnológico. No texto, a definição de inovação envolve a introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social.

Livro Amarelo (2005)

O Livro Amarelo, diferentemente dos guias anteriores, traz uma descrição mais detalhada da trajetória da CTI no Brasil. Nos anos 50 e 60, a pós-graduação brasileira começou a operar sob condições mínimas de apoio, iniciando um processo de institucionalização. Nos anos 70 e 80, período em que o país era governado por uma ditadura civil-militar, houve uma expansão da base de pesquisa e formação no nível superior. Em 1985, marcado pela transição para a democracia, criou-se o MCT, órgão dirigente que se estruturou pela absorção de órgãos tradicionais como CNPq e Finep. Nos anos 90, houve uma transição para um novo modelo de financiamento, com a criação, em 1996, do PRONEX (Programa de Apoio aos Núcleos de Excelência) que, frente às restrições orçamentárias, objetivou apoiar os grupos mais competentes e áreas estratégicas. Paralelamente, houve uma redução no número de bolsas ofertadas. O resultado foi o agravamento das desigualdades regionais e uma concentração excessiva no Sudeste. Além disso, foi uma década de grande instabilidade, com grande resistência ao MCT, que foi extinto e recriado, mas houve um avanço institucional significativo com a criação dos Fundos Setoriais, como uma resposta às dificuldades financeiras. No âmbito

do BNDES e Finep foram criados programas para PMEs. Os anos 2000 seriam marcados por um fortalecimento da CTI, com avanços no plano estratégico com os Livros Verde e Branco, além de novos marcos legais e mudanças na regulação.

O texto não menciona a categoria Disrupção, embora a preocupação com os riscos seja patente. O risco, no contexto dessa publicação, é algo inerente à P&D, que deve ser mitigado pelo Estado. Prejudica, em maior grau, as PMEs e EBTs, como startups. A preocupação com a ausência de um mercado de capital de risco no Brasil é central. Nesse sentido, observa-se que a série de Livros (Verde, Branco e Amarelo) insiste nesse ponto. O problema não seria o risco, mas a falta de disposição dos atores, particularmente empresas, de assumi-lo, além do desinteresse dos investidores em apoiar novos negócios.

Lei do Bem (2005)

Trata-se de uma política de incentivos fiscais para a inovação nas empresas, baseada em um regime especial de tributação e incentivos suplementares para aquisição e exportação. Para as regiões Centro-Oeste e Nordeste, a Lei pode apoiar a remuneração de pesquisadores. Podem usufruir dela as empresas que realizam P&D e que cumpram as regras previstas de controle contábil e prestação de contas. A governança da Lei é compartilhada entre MCTI, MDIC e Receita Federal. Foi objeto de pequenas alterações em 2007-08 e 2012.

A Lei não menciona Disrupção e apenas em um momento a categoria risco, regulando sobre a sua responsabilidade no contexto empresarial, atribuindo-o à entidade beneficiada pelos incentivos. No que se refere à inovação, a Lei entende como a concepção de produto ou agregação de funcionalidades ou características que resulte em maior competitividade.

Lei do FNDCT (2007)

A Lei regula o funcionamento do Fundo, reitera sua natureza contábil e financeira (não é um fundo de investimento), destinado a apoiar projetos de interesse público através de uma gestão pública, pela Finep. O FNDCT é mantido, principalmente, com recursos do orçamento anual da União, royalties e compensações que incidem sobre setores regulados da economia. Há outras fontes como incentivos fiscais, empréstimos, doações e rendimentos. O texto destaca a importância de se reduzir as desigualdades regionais. Em 2021-22, houve mudanças significativas, vedando a limitação de empenho e as reservas de contingência que ameaçavam a implementação de projetos que estão no escopo do Fundo, definindo inclusive mínimos de aplicação.

O texto não menciona Disrupção e há, apenas, duas menções à palavra risco, referente ao contexto operacional, no qual o ator o assume. Objetivando mitigá-lo, o texto prevê a utilização de recursos não reembolsáveis. Inovação, aqui, vem associada ao desenvolvimento socioeconômico e um olhar mais abrangente para a pesquisa. Tal como as anteriores, reitera o compromisso com a promoção da competitividade nacional.

Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (2007)

O Plano foi uma iniciativa do MCTI para o triênio de 2007-2010 que enfatizou o compromisso do Ministério com a necessidade de uma abordagem sistêmica, de longo prazo e para o desenvolvimento social. Entre seus objetivos estavam: aperfeiçoar e implementar legislações modernas; revitalizar conselhos consultivos (CCT); aproximar União, Estados e Municípios; consolidar a infraestrutura; apoiar ambientes de inovação (parques e incubadoras); promover colaborações. O documento introduz o termo ‘áreas portadoras de futuro’, que eram entendidas como, grosso modo, setores de alta tecnologia que, por promoverem crescimento econômico, empregos, competitividade e sustentabilidades, são estratégicos.

Os setores eram muitos e variados: biotecnologia; nanotecnologia; TICs; saúde; biocombustíveis; energia; petróleo; agro; biodiversidade; espaço; energia nuclear; defesa; etc. O diagnóstico do plano é otimista, diz que a comunidade científica brasileira alcançou a maturidade e que o setor privado se tornou mais participativo e que o problema seria de tradução. Haveria condições para um plano tanto ‘ambicioso’ quanto ‘realista’, caso a política de CTI convergisse com a indústria. Nesse sentido, o PACTI se soma ao PITCE, incentivando a formação de recursos humanos para uma base empresarial que realizava alguma P&D, ao mesmo tempo divulgando a excelência das ICTs, atraindo as empresas para temas inovadores.

O documento não menciona as palavras Disrupção, mas menciona interesse sobre temas e tecnologias de ‘fronteira’.

PADIS (2007)

O PADIS foi criado para fomentar a inovação nas indústrias brasileiras de semicondutores e equipamentos para TV Digital. O objetivo era fortalecer setores estratégicos de alta tecnologia, capacitando-os para competir no cenário global por meio de programas estatais. A política se baseia na concessão de incentivos fiscais, como a redução de impostos, em troca de um investimento mínimo do faturamento das empresas em PDI no Brasil. O diagnóstico que motivou a lei foi a percepção de que, sem um forte estímulo à inovação local, a indústria

nacional não conseguiria superar a concorrência internacional e os altos custos de desenvolvimento.

Ao longo do tempo, a lei foi atualizada para se adaptar às novas demandas tecnológicas e econômicas. As principais mudanças expandiram os benefícios para o setor de energia solar, e, de forma mais significativa, alteraram o modelo de incentivo. A isenção de impostos sobre a receita foi substituída por um sistema de crédito financeiro, calculado sobre o dispêndio efetivo em P&D&I, tal como a Lei de Informática-TICs.

O texto da lei não menciona explicitamente o conceito de disrupção. No entanto, a ideia está implícita no forte incentivo à inovação em áreas de ponta. Ao estimular as empresas a criarem tecnologias, produtos e processos, a lei busca redefinir mercados, promovendo a autonomia tecnológica do país e fortalecendo a indústria nacional.

Livro Azul (2010)

O Livro Azul foi um guia que visou consolidar uma política para CTI na qual sustentabilidade ambiental e progresso fossem compatibilizados. Tal como os livros anteriores, identificou áreas estratégicas (energia, biotecnologia, TICs, saúde, agro, nanotecnologia, defesa e meio ambiente) e recomenda um maior nível de colaboração, ‘uma necessidade imperiosa que envolve todos os níveis, setores e políticas’. Uma novidade dessa publicação foi a menção às mudanças climáticas.

O documento reconhece que houve avanços, mas pondera ao afirmar, como um problema persistente, a insegurança jurídica e complexidade dos regulamentos e burocracias, dando um maior enfoque à questão das licitações e restrições. A Lei de Inovação teria resolvido os problemas formais apenas parcialmente, exigindo clarificações adicionais. Em termos estratégicos, não inaugura novidades e menciona o sucesso do PACTI.

Não há menção a Disrupção, mas há de “inovação radical”, no contexto da competição internacional em biocombustíveis. A noção de risco é pontualmente mencionada de maneira semelhante aos outros livros, com um enfoque no capital de risco e sua mitigação. Para o documento, o risco é inerente, sistêmico e inclui relações perigosas com o meio natural, como contaminações. Já o conceito de inovação ganha uma ênfase, indicando para o ‘salto qualitativo e quantitativo’ que pode promover uma mudança de status do país, que deve se tornar uma ‘grande economia mundial’. A inovação é sistêmica, estratégica e colaborativa, visa a consolidação do SNCTI, a autonomia e preservação ambiental.

Plano Brasil Maior (2011)

O Plano Brasil Maior foi uma política industrial, de tecnologia e serviços, com foco na inovação e competências para promover a competitividade, adensar as cadeias produtivas e alavancar os investimentos privados. Via-se nas parcerias público-privadas o vetor para a mudança, nesse sentido o PBM menciona medidas como desoneração, maior investimento público, defesa comercial, garantia às exportações, regimes especiais, compras públicas e incentivos particulares para as PMEs.

O Plano elegeu cinco blocos produtivos como prioritários: mecânica, eletrônica e saúde; sistemas intensivos em escala; intensivos em trabalho; agro; comércio, logística e serviços. O diagnóstico apontava para fatores positivos como: amplo mercado interno; superávit decorrente do boom das commodities; acúmulo de competências científicas; abundância de recursos naturais; presença de empresas inovadoras no Brasil. Entre os obstáculos: aumento da defasagem tecnológica na indústria de transformação; guerra cambial; acirramento da concorrência internacional; infraestrutura insuficiente; falta de profissionais qualificados.

Não há menção no documento à categoria de Disrupção, embora use os termos ‘alta tecnologia’ e ‘tecnologias emergentes’ no contexto da busca por uma maior inserção internacional. Há poucas menções a risco, no mesmo contexto: as empresas consolidadas no Brasil, em setores intensivos em escala, são avessas ao risco, além disso faltaria uma capacitação, do Sistema como um todo, em enfrentá-lo.

ENCTI (2012)

A ENCTI, lançada no contexto do Plano Brasil Maior, delineou os objetivos da política para CTI para o período entre 2012-2015. Tal como os documentos anteriores, destacou o apoio prioritário a setores estratégicos e a necessidade de uma maior articulação entre os atores. A noção de setores portadores de futuro também esteve presente. Um aspecto mais particular foi a ênfase na expansão da infraestrutura de inovação, através da introdução de um novo órgão de fomento, criado em 2014, a organização social EMBRAPIL. Outras ênfases do documento foram: compras públicas; desafios nacionais; transição verde. O diagnóstico da ENCTI sobre o Sistema é, em geral, otimista. Ele menciona o aumento dos investimentos nos anos 2000, a ampliação e descentralização da infraestrutura e da formação de recursos humanos. Entre os desafios, a defasagem tecnológica, a cultura passiva nas empresas e a necessidade de mais infraestrutura são os principais.

Há duas menções a tecnologias disruptivas, ambas no contexto do Programa Nacional de Atividades Espaciais, como um tipo de ‘tecnologia crítica não dominada’ ou ‘inovação tecnológica radical’ com grande potencial de transformar a economia e sociedade. Também estão associadas às ‘tecnologias de acesso restrito’, ‘estratégicas’ ou ‘emergentes’, dominadas por um conjunto pequeno de atores, que extraem delas vantagens competitivas. Entre os riscos, os ambientais e sociais ganharam relevância, particularmente desastres ambientais. Uma novidade é o risco no contexto da desindustrialização do país, com o aumento da relevância econômica das commodities.

ENCTI (2016)

A ENCTI de 2016, com validade até 2022, dá seguimento aos objetivos dos planos anteriores, de consolidar e expandir o Sistema. Os apelos são os usuais, concentrados em ganhos quantitativos em infraestrutura, recursos humanos e investimentos, além de ganhos de eficiência, como maior articulação entre os atores e redução das desigualdades regionais. Os avanços e desafios mencionados são os mesmos do documento anterior, com uma diferença de ênfase, particularmente a priorização de projetos para grandes infraestruturas de P&D e laboratórios multiusuários, que deveria ser maior.

O documento menciona a ideia de Disrupção, mas através de outra categoria, a de tecnologias convergentes, que se refere à ‘combinação sinérgica de quatro grandes áreas: nanotecnologia, biotecnologia, TICs e ciências cognitivas (neurociência)’, através dela poderiam ser geradas transformações radicais em setores inteiros. O ator privilegiado, mais adequado para gerá-las, seriam as startups. A ENCTI menciona um ‘Plano de Ação para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras’, entre as habilitadoras inclui as áreas de fotônica, materiais, manufatura avançada e micro-nanoeletrônica. Os riscos ambientais também são muito relevantes no documento. Mas há uma particularidade, sendo os riscos inerentes à P&D, eles devem ser compartilhados. Atribui-se às subvenções a capacidade de promover esse compartilhamento.

Marco de CTI (2016-2018)

Através de uma Lei (2016) e de um Decreto (2018), foi criado um arcabouço mais unificado que estabelece medidas de incentivo e capacitação. Além disso, visou promover um melhor entendimento ao adotar uma terminologia detalhada de conceitos centrais para a política de CTI, especificando bem as funções e responsabilidades dos atores. O documento reitera

objetivos que geralmente são secundários, elevando-os para um maior status de importância, como alianças estratégicas e redes internacionais de pesquisa.

As alianças visam a integração, são colaborativas, podem ser internacionais e incluir ações de empreendedorismo, devem receber apoio público e exigem alguma forma de contrapartida. Também traz maior liberdade para as ICTs públicas, autorizando-as a participar minoritariamente de empresas (desde que estejam alinhadas com as prioridades do Estado), que façam a gestão de ambientes de inovação e que atuem fora do país, também define diretrizes para remuneração de servidores e facilita a transferência tecnológica. Há outras novidades como o bônus tecnológico, que visa cobrir os custos associados à infraestrutura para PMEs.

O conceito de inovação foi sintetizado como a introdução de novidade na produção ou sociedade que resulte em produto, processo ou serviço. Outros conceitos importantes são introduzidos, como o de ecossistema, ligado à ideia de uma ‘economia baseada no conhecimento’, são espaços que agregam infraestrutura e potencializam o desenvolvimento. Também deu uma definição para risco como a possibilidade de insucesso, de resultado incerto em função de conhecimento insuficiente.

No tocante aos riscos, tal como a ENCTI de 2012, há uma continuidade com o apelo ao compartilhamento do risco para mitigar os custos da P&D e a menção, para isso, do uso de encomendas tecnológicas. A palavra Disrupção não foi utilizada.

E-Digital (2018)

O objetivo do documento é promover a transformação digital do país, para elevar a produtividade, competitividade, justiça e prosperidade social. Está dividido em eixos habilitadores (infraestrutura, P&D, confiança, educação e internacionalização) e temáticos (economia e governo). O diagnóstico da E-Digital transcende a política de CTI, mencionando a carência de alfabetização e letramento no Brasil; a ampla utilização, por mais da metade da população, de serviços digitais do governo; a falta de coordenação entre entes públicos; o baixo investimento privado; a necessidade de mais integração da infraestrutura de redes; a necessidade de expandir a infraestrutura de telecomunicações; a criação de ambiente regulatório favorável à inovação (sandboxes).

O documento menciona disrupção algumas vezes, e se concentra em dois contextos. O primeiro diz respeito às tecnologias de fronteira (Big Data, Inteligência Artificial, Manufatura 4.0, robótica e Internet das Coisas etc.); o segundo, a modelos de negócios ou plataformas

disruptivas (como as de streaming de vídeo). Por sua vez, as tecnologias de fronteira exigem a combinação de elevado conhecimento e infraestrutura avançada, além disso são transformadoras. O contexto dos riscos é variado: escassez de profissionais qualificados; exposição da privacidade; vulnerabilidade de crianças e jovens; segurança; liberdade de expressão; concentração econômica; até mesmo o risco de gerar travas à inovação.

PNI (2020)

A PNI visa coordenar e articular estratégias e programas com o intuito de promover a produtividade, competitividade, P&D, transformação do conhecimento e desenvolvimento de capital humano. Instituiu a Câmara de Inovação, que junto com o CCT, deve formular, coordenar e avaliar o cumprimento de prioridades, além de recomendar e opinar sobre temas relevantes.

Não há menção a Disrupção no texto e, apenas pontualmente, trata dos riscos, geralmente no contexto da inerência deles na P&D e a necessidade de tolerá-los.

EBIA (2021)

Visa orientar as ações do Estado brasileiro em Inteligência Artificial e articulá-las com demais atores no setor privado. O documento ressalta o potencial de transformação social e econômica que decorre do desenvolvimento e difusão da IA, além de alterações nos paradigmas vigentes e suas ramificações. Entre os desafios, se repetem os do passado, particularmente baixo investimento, infraestrutura insuficiente e concentração regional (especialmente no Sudeste e Sul). Entre os mais particulares, destaque para a competição de profissionais.

Há muitas menções a riscos, com contextos variados, os mais importantes são: substituição de trabalhadores pela automação, particularmente os de média qualificação; viés racista dos bancos de dados (perfilamento facial); agressões aos direitos do indivíduo e organizações, referentes à coleta e tratamento de dados. Há um apelo para que a regulação seja ‘proporcional aos riscos’, baseada numa análise, que leve em conta os diferentes graus. Não há menção a disrupção, embora sejam mencionadas pontualmente ‘tecnologias habilitadoras’ e ‘áreas de fronteira’

11. Entrevistas em profundidade

Apresentamos aqui os dados resultantes do levantamento de teses e dissertações defendidas no Brasil sobre “Interfaces Cérebro-Computador” (ICC), também chamadas de “Interfaces Cérebro-Máquina” (ICM). Esse levantamento, feito em abril de 2021, complementa as informações bibliométricas extraídas da Web of Science (WoS) em 2024.

Lembrando, as entrevistas, apresentadas no capítulo 7, ocorreram entre abril de 2023 e fevereiro de 2025. Aqui, são apresentadas informações sobre o **método i** (tabela de verdade). Dada a dificuldade em alcançar uma participação mais representativa dos pesquisadores da área, decidiu-se complementar com indicações dos respondentes (método ii – bola de neve).

Para a seleção dos potenciais entrevistados foi desenvolvido um índice classificatório do tipo Fuzzy-Set, baseado em uma Tabela de Verdade, para qualificar o engajamento de instituições e pesquisadores na área (RAGIN, 2008).

A busca foi realizada nas coleções do Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES e da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do IBICT, utilizando os termos “Interface Cérebro-Computador” e “Interface Cérebro-Máquina” (em português) e “Brain-Computer Interface” e “Brain-Machine Interface” (em inglês). Os resultados foram tabulados, duplicatas removidas e organizadas conforme a estrutura abaixo.

1. Ano da Defesa;
2. Grau de Formação;
3. Nome do Pós-graduando;
4. Nome do orientador e coorientador;
5. Nome da Instituição de Ensino Superior;
6. Nome do Departamento;
7. Cidade/UF;
8. Caso tenha feito sanduíche em país estrangeiro: Nome da Instituição e Nome do orientador;
9. Conceito CAPES do Programa de Pós-Graduação.

Quadro 14: Informações levantadas a partir das defesas de teses e dissertações em ICC.
Fonte: Elaboração própria.

A partir desse levantamento, foram definidas categorias de pertencimento que caracterizam a comunidade de pesquisa em ICCs no sistema de pós-graduação. Com essas informações, que indicam onde a ciência é produzida, torna-se possível investigar qualitativamente o engajamento dos Professores & Pesquisadores (PPs) na área e incorporar dados que expliquem esse envolvimento.

A noção de PP, que reflete o duplo papel dos docentes em Instituições de Ensino Superior, foi inspirada em Dagnino (2007). A Tabela de Verdade foi utilizada como técnica de pesquisa, devido à sua flexibilidade para incorporar variáveis simples, como pertencimento ou não a determinado critério (RAGIN, 2008). Com isso, informações-chave dos currículos Lattes dos PPs foram mobilizadas utilizando critérios análogos aos aplicados aos mestres e doutores formados.

1. Nome do PP;
2. Nacionalidade;
3. Nome do orientador e coorientador;
4. Nome da Instituição de Ensino Superior;
5. Nome do Departamento;
6. Caso tenha feito sanduíche em país estrangeiro: Nome da Instituição e Nome do orientador;
7. Ano da Defesa de Doutorado;
8. Nome da Instituição de vinculação do PP e Cidade/UF.

Quadro 15: Informações levantadas sobre os professores-pesquisadores a partir dos Lattes.
Fonte: Elaboração própria.

Paralelamente a essas informações, formulamos um conjunto de questões pragmáticas de resposta binária (sim ou não). Essas respostas servem como critérios classificatórios para a pesquisa em ICC, permitindo identificar os PPs e departamentos mais atuantes no Brasil nessa temática.

1. A (o) PP em questão possui algum projeto de pesquisa em ICC ativo?
2. A (o) PP no passado teve algum projeto de ICC, hoje encerrado?
3. A (o) PP orientou doutorados dentro dessa temática ou somente trabalhos de mestrado? Seu papel se restringe a (co)orientações?
4. A (o) PP publicou seus resultados relativos à PD&I em ICC em anais de Conferências?
5. A (o) PP publicou artigos nessa temática em periódicos?
6. A (o) PP é autor de alguma patente relativa à ICC ou tecnologia assistiva?

Quadro 16: Conjunto de questões que orientaram a criação da Tabela de Verdade.
Fonte: Elaboração própria.

Após a construção e tabulação das respostas junto às informações que identificam os PPs, definimos variáveis sensíveis às diferenças. Categorizamos essas respostas em um gradiente, atribuindo valor 1 para afirmativas e 0 para negativas. Quanto mais próximo de 1, maior a relevância do PP como interlocutor. Consequentemente, sua instituição, laboratórios e

grupos de pesquisa ganham importância como locus dessa produção, devido ao efeito agregador desses dados. Com base nisso, chegamos à seguinte matriz:

Nome da Variável	Base de Informação	Regras de Construção	Hipóteses Suscitadas
Aderência à Temática	Projetos de Pesquisa (Lattes)	Se há projetos de pesquisa em ICC ativos, o PP pontua 0,6, priorizando quem atua na temática atualmente. Projetos encerrados pontuam 0,4. A aderência contínua pontua 1.	PP com pontuação 1 demonstra iniciativa na área. Quando 0, indica aprendizado sem tornar a temática central em sua agenda. Pontuação 0,4 sugere mudança de tema; 0,6, um interesse recente.
Capacidade de Mobilização	Orientações de doutorandos (Catálogo CAPES e Biblioteca IBICT)	PP que orientou teses de doutorado pontua 1. Apenas mestrados pontuam 0,5. Coorientações pontuam metade do que seria atribuído à orientação principal (0,5 para teses; 0,25 para dissertações).	Pontuação 1 indica vínculo com consolidado com um PPG. Pontuação 0,5 reflete PPG em consolidação, jovem docente, incompatibilidade de interesses com estudantes. Coorientações indicam papel complementar.
Intensidade da Mobilização	Frequência de orientações (Catálogo CAPES e Biblioteca IBICT)	Para evitar a equivalência entre coorientação de doutorado e orientação de mestrado, utilizamos a frequência de participações: 3 ou mais orientações pontuam 1; 2 orientações, 0,6; 1 orientação, 0,2.	Pontuação 0,2 sugere participação episódica. Pontuação 0,6 indica maior envolvimento na temática. Pontuação 1 sugere a existência de dinâmicas coletivas como grupos de estudo compartilhando interesses.
Dimensão da Repercussão	Produção de Artigos para Conferências e Periódicos + Patentes (Lattes)	Variável composta por três fatores: publicações sobre ICC em conferências pontuam 0,2; publicações em periódicos, 0,4; patentes e registros de tecnologia em ICC, 0,4.	Pontuação 1 sugere desenvolvimento de tecnologia, traduzindo pesquisas em patentes e eventos temáticos. Pontuação 0,6 indica um perfil acadêmico, focado na publicação de artigos. Pontuação 0,2 reflete uma inserção incompleta na área.

Tabela 13: Matriz das variáveis classificatórias utilizadas.

Fonte: Elaboração própria.

Aplicando as regras de construção descritas, a Tabela de Verdade do tipo Crisp-Set, qualitativa e dicotômica, dá lugar a uma caracterização Fuzzy-Set, permitindo distinguir casos segundo graus de pertinência (RAGIN, 2008). A partir de uma média simples (soma das pontuações dividida pelo número de variáveis, geramos uma classificação que pode ser analisada em diferentes níveis: institucional (Departamento, Instituição de Ensino Superior) ou individual (PP). Esses são os instrumentos metodológicos de seleção adotados.

A conjunção dessas quatro variáveis forma um proxy, semelhante a um mapa, que orienta a busca por interlocuções relevantes. Esse proxy, denominado Índice de Engajamento em ICC (e-ICC), pode ser interpretado segundo os seguintes intervalos de pertinência:

- 0,9 - 1 → Altíssimo
- 0,7 - 0,89 → Alto
- 0,5 - 0,69 → Relevante
- 0,3 - 0,49 → Pouco relevante
- 0 - 0,29 → Irrelevante

Esse procedimento constitui uma metodologia híbrida, predominantemente qualitativa, permitindo analisar a Comunidade de Pesquisa brasileira em ICC de forma comparativa, adicionando dados contextuais sobre os atores. Foram identificadas 122 dissertações e 34 teses que mencionam ICCs no título ou resumo, incluindo informações sobre a atuação dos respectivos orientadores e coorientadores (n = 112). O total de formados corresponde a 149 pessoas, sendo que, em 7 casos, há inclusão dupla (autor de dissertação e tese). A maioria absoluta dos pesquisadores é brasileira, enquanto os 16 alunos estrangeiros são todos provenientes da América Latina.⁷⁸ A maioria dos estudantes concluíram integralmente suas pesquisas no Brasil, havendo apenas 9 casos de doutoramentos na modalidade sanduíche.⁷⁹ Sobre os mestres selecionados, 35 de 122 pessoas estavam em 2021 cursando o doutorado, soma-se a esse número outros 12 já concluíram. A maioria continuou seus estudos em IES brasileiras e apenas 4 em estrangeiras.⁸⁰ Dos Doutores, 2 estavam no pós-doutorado, ambos em instituições brasileiras.⁸¹ Dessas 149 pessoas, 42 exerciam em 2021 alguma prática docente, 16 na Rede Pública (14 em Universidades Federais, 2 em estaduais), 10 pessoas em Institutos Técnicos, 13 pessoas no sistema privado, 1 pessoa num Centro Federal de Educação Tecnológica, 1 num Centro Paula Souza de São Paulo e, por fim, 1 docente fora do país (Japão).

⁷⁸ As instituições brasileiras receptoras de estrangeiros foram a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio, n.5: 3 em Engenharia Mecânica, 2 em Engenharia Elétrica), Federal do Espírito Santo (UFES, n.3: 3 em Engenharia Elétrica), Federal de Minas Gerais (UFMG, n.3: 3 em Engenharia Elétrica), Estadual de Campinas (UNICAMP, n.2: 1 em Engenharia Elétrica, 1 em Engenharia Mecânica), Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, n.1: 1 em Engenharia Mecânica), Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, n.1: 1 em Computação) e Estadual Paulista (UNESP, n.1: 1 em Engenharia Elétrica). 7 pessoas são de nacionalidade colombiana e respectivamente 3 para Cuba, Equador e Peru.

⁷⁹ 3 na Universidade de Ryerson e 1 Universidade do Quebec (Canadá) e respectivamente 1 nas Universidades de Harvard e Central Florida (EUA), Université de Grenoble Alpes e Université Paris 8 (França), Universidade de Alcalá de Henares (Espanha). Desses 9 estudantes, 3 fizeram seus doutorados na UFES no departamento de Engenharia Elétrica, os demais vieram de instituições diversas, com respectivamente 1 estudante: Federal do ABC (UFABC – Engenharia da Informação), Federal do Pernambuco (UFPE – Design), UFRGS (Engenharia Elétrica), Federal de Uberlândia (UFU – Engenharia Elétrica), UNICAMP (Engenharia Elétrica) e UNESP (Educação Para a Ciência).

⁸⁰ Sendo elas: Halmstad University, Suécia; Universidade da Califórnia, EUA; Universidade do Porto; Portugal; Instituto de Tecnologia Nagoya, Japão.

⁸¹ Uma leitura superficial dessas trajetórias, no que diz respeito a continuidade da pesquisa tratada na dissertação, informada pelo título das teses e dos projetos de pesquisa listados no Lattes, mostra que a maioria continuou na temática de ICC, já que apenas 6 pessoas migraram para outras temáticas de estudo. Entretanto, é preciso ter muita cautela com essa informação, já que ela precisa ser verificada e validada a partir de outros procedimentos.

Outras 13 pessoas exerciam outras atividades. 57 pessoas não declararam, em seus currículos Lattes, vinculação institucional ativa no momento da coleta.

11.1. Universo de pesquisa

Considerando os 156 trabalhos analisados, fica evidente a relevância dos Programas de Pós-Graduação (PPGs) classificados como “ótimos” ou “excelentes” pela CAPES em 2021, que concentram 96 trabalhos (65 dissertações e 31 teses), distribuídos da seguinte forma: 37 trabalhos em PPGs nota 5; 39 trabalhos em PPGs nota 6; 20 trabalhos em PPGs nota 7; Além disso: 30 trabalhos (27 dissertações e 3 teses) foram defendidos em PPGs nota 4, classificados como “bons”; 29 trabalhos foram produzidos em PPGs ainda não consolidados, sem cursos de doutorado; 1 trabalho foi defendido em um PPG atualmente descredenciado (nota 2).

As instituições e departamentos brasileiros que formaram pesquisadores na temática de ICCs, excluindo aquelas com menos de 3 trabalhos, são as seguintes:

IES	N.	Departamentos	N	C	T
UNICAMP	16	Engenharia Elétrica	12	6	2013-20
		Tecnologia	2	4	2017-19
		Física	1	7	2016
		Engenharia Mecânica	1	5	2016
ISD	13	Neuroengenharia	13	3	2015-19
UFES	12	Engenharia Elétrica	12	5	2008-19
UFRJ	11	Engenharia Biomédica	10	6	2016-19
		Engenharia Mecânica	1	7	2018
UFRGS	11	Engenharia Elétrica	9	6	2012-20
		Modelagem Computacional	1	4	2013
		Ciência da Computação	1	7	2019
UFABC	9	Engenharia da Informação	4	4	2013-20
		Engenharia Biomédica	3	3	2017-20
		Neurociência e Cognição	1	4	2014
		Engenharia Elétrica	1	4	2018
USP	8	Ciência da Computação	4	7	2014-19
		Engenharia Elétrica	3	7	2000-10
		Engenharia Mecânica	1	5	2017
UFPE	8	Engenharia Elétrica	3	5	2014-19
		Engenharia Biomédica	2	3	2018-19
		Ciência da Computação	2	7	2015-17
		Design	1	4	2014
UFMG	8	Engenharia Elétrica	8	5	2010-19
PUC Rio	7	Engenharia Mecânica	5	7	2009-18
		Engenharia Elétrica	2	7	2017
UNESP	4	Engenharia Elétrica	2	6	2013-20

		Engenharia Mecânica	1	4	2018
		Educação para a Ciência	1	6	2013
UNB	4	Estatística	2	4	2012
		Engenharia Biomédica	2	3	2018-20
UFRN	4	Sistemas e Computação	3	5	2014-17
		Engenharia Elétrica	1	5	2012
UTFPR	3	Engenharia Elétrica	2	5	1999-15
		Engenharia Biomédica	1	3	2003
UNIFOR	3	Informática Aplicada	3	4	2017-19
UFU	3	Engenharia Elétrica	3	5	2014-20
UFSC	3	Engenharia de Aut. e Sistemas	3	6	2017-18
UFPA	3	Ciência da Computação	2	4	2018-21
		Biotecnologia	1	5	2015
UFRGS	3	Modelagem Computacional	2	4	2018
		Engenharia da Computação	1	3	2017

Tabela 14: Relação de PPGs com trabalhos defendidos na temática de ICC.
Fonte: Elaboração própria.

O Instituto Santos Dumont (ISD) é uma organização social voltada à pós-graduação e extensão, vinculada ao Ministério da Educação por meio de um contrato de gestão. Atualmente, oferece um Mestrado em Neuroengenharia e uma Residência Multiprofissional no Cuidado à Saúde da Pessoa com Deficiência. A instituição está em processo de criação do Doutorado Interdisciplinar em Neurociências e Saúde, cuja proposta aguarda aprovação da CAPES. (ISD, 2022)

A tabela evidencia que os projetos em ICCs no Brasil são majoritariamente desenvolvidos em departamentos de Engenharia, com destaque para Engenharia Elétrica ($n = 67$), seguida por Engenharia Biomédica ($n = 18$), Neuroengenharia ($n = 13$) e Engenharia Mecânica ($n = 10$). Esses três últimos apresentam volume de pesquisa semelhante ao dos departamentos de Ciência da Computação ($n = 14$). Essa distribuição era esperada, considerando o caráter aplicado da temática. Além disso, pode indicar modalidades distintas de pesquisa, especialmente no caso do ISD, a única instituição que se reconhece como pertencente à disciplina "neuro". A distribuição territorial das atividades de pesquisa em ICCs no Brasil está representada no mapa abaixo.



Mapa 1: Distribuição territorial da formação de pesquisadores pelas ICTs na temática de ICCs.
Fonte: Elaboração própria.

Ao todo, mapeamos 112 pesquisadores que atuaram como orientadores ou coorientadores em trabalhos sobre ICCs no Brasil. A maior parte dessas pesquisas foi defendida entre 2012 e 2020, com um pico em 2017 ($n = 27$) e 2018 ($n = 24$) (Gráfico 24). Esse crescimento parece estar relacionado à criação do ISD em 2013 e à visibilidade gerada pela Copa do Mundo no Brasil em 2014, quando um jovem paraplégico, Juliano, realizou o chute inaugural utilizando um exoesqueleto, parte do projeto Walk Again, então financiado pelo Governo Federal. O episódio, amplamente divulgado, contribuiu para atrair atenção ao campo, explicando o aumento momentâneo da produção acadêmica e a queda nos anos seguintes, sugerindo que essa expansão foi motivada pelo frisson gerado. Os PPs formam uma geração jovem de pesquisadores, com a maioria graduada nos anos 2000 (Gráfico 25).

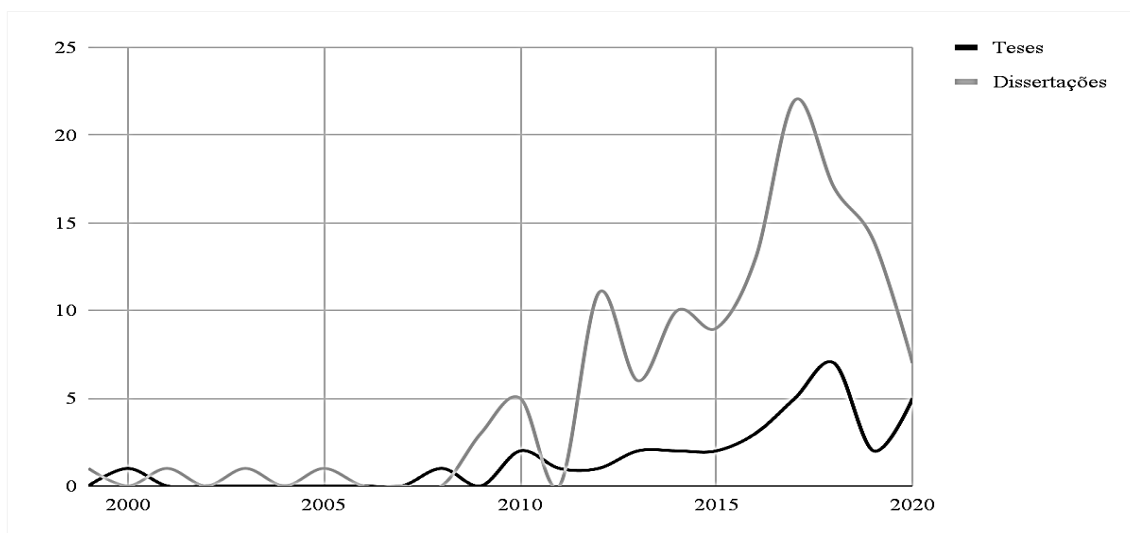


Gráfico 24: Frequência anual das defesas de teses e dissertações no tópico de ICCs entre 1999 e 2020.
Fonte: Elaboração própria.

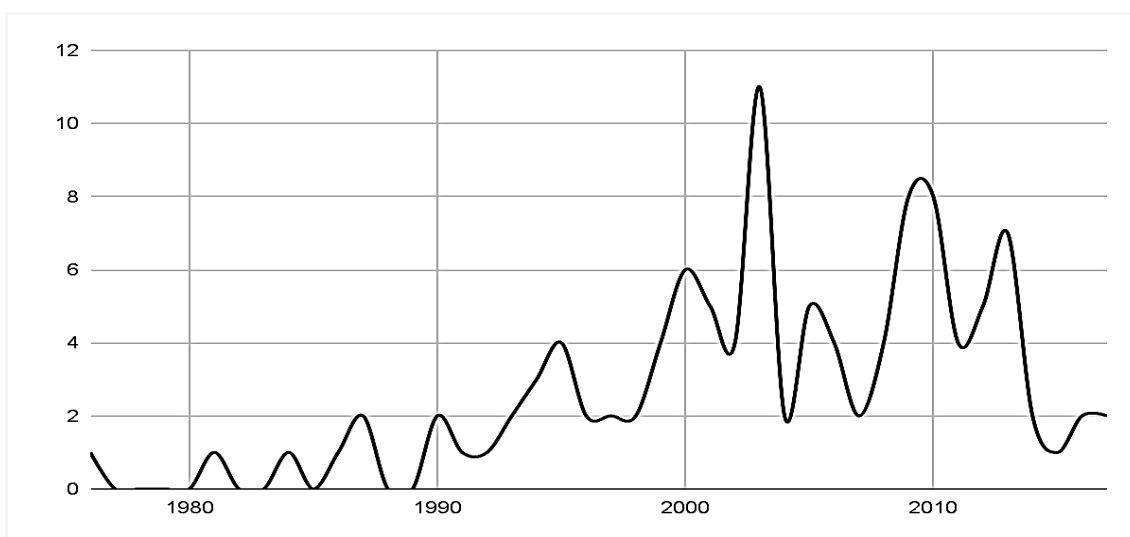


Gráfico 25: Frequência anual das defesas de doutorado dos orientadores da amostra.
Fonte: Elaboração própria.

Entre os 112 pesquisadores, 6 são estrangeiros, majoritariamente europeus (Alemanha, Chile, Equador, Espanha, França e Portugal). As principais áreas de formação dos pesquisadores são: Engenharia Elétrica ($n = 44$); Ciência da Computação ($n = 22$); Engenharia Mecânica ($n = 9$); Engenharia Biomédica ($n = 7$); Neurociências ($n = 7$); Ciências Biológicas ($n = 6$). Além disso, uma parcela significativa dos pesquisadores obteve formação no exterior ($n = 34$), predominantemente em países anglo-saxões: Inglaterra ($n = 10$); EUA ($n = 6$); Alemanha ($n = 5$); França ($n = 4$); Espanha ($n = 3$); Japão ($n = 2$).

Entre os 77 pesquisadores formados no Brasil, destacam-se instituições paulistas e federais: USP (n = 19); UNICAMP (n = 15); UFRJ (n = 9); UFSC (n = 6); UFMG (n = 5); UFRGS (n = 3); UFPE (n = 3); UFPA (n = 3); UFPB (n = 2); UFES (n = 2); ITA (n = 2).

Agora, no que se refere à vinculação institucional desses PPs, sejam orientadores e coorientadores, tínhamos a seguinte distribuição em 2021:

IES	N.	Departamento	N.
UNICAMP	12	Engenharia Elétrica	5
		Semicondutores	2
		Tecnologia	1
		Engenharia Mecânica	1
		Cronologia	1
		Computação e Automação	1
		Ciência da Computação	1
		Engenharia Biomédica	3
UFABC	7	Neurofisiologia e Cognição	1
		Matemática	1
		Engenharia Elétrica	1
		Engenharia de Sistema	1
		Neurociências	6
ISD	7	Bioinformática	1
		Engenharia Biomédica	4
UFRJ	6	Engenharia Mecânica	1
		Engenharia Eletrônica	1
		Ciência da Computação	2
UFPE	6	Fisiologia e Biofísica	1
		Engenharia Biomédica	1
		Eletrônica e Sistemas	1
		Design	1
		Engenharia Elétrica	6
USP	5	Ciência da Computação	2
		Mecatrônica e Sistemas	1
		Engenharia de Telecomunicações	1
		Ciências Matemáticas	1
		Engenharia Elétrica	2
UNESP	5	Matemática	1
		Física e Química	1
		Engenharia Mecânica	1
		Neurociências	1
UFPA	5	Engenharia Elétrica	1
		Computação Aplicada	1
		Ciência da Computação	1
		Biotechnology	1
		Informática e Matemática	2
UFRN	4	Engenharia Elétrica	1
		Engenharia Biomédica	1
		Engenharia Elétrica	2
UFMG	4	Engenharia Biofísica	1
		Engenharia Eletrônica	1
		Informática Aplicada	3
UNIFOR	3	Engenharia Biomédica	1
		Automação	1
		Clínica Médica	1

UFRGS	3	Engenharia Elétrica	2
		Informática Aplicada	1
PUC Rio	3	Engenharia Elétrica	2
		Engenharia Mecânica	1
UTFPR	2	Engenharia Elétrica	1
		Eletrônica	1
UNB	2	Estatística	1
		Engenharia Biomédica	1
UFSCAR	2	Ciência da Computação	2
UFRRJ	2	Ciência da Computação	2
UFMT	2	Física	2
UFJF	2	Ciência da Computação	2
SENAI CIMATEC	2	Modelagem Computacional	1
		Automação	1
IFSP	2	Controle e Automação	2
FURG	2	Ciência da Computação	2

Tabela 15: Distribuição das defesas na temática ICC entre as ICTs brasileiras e departamentos.
Fonte: Elaboração própria.

Com efeito, os departamentos com os maiores n. foram o de Neuroengenharia do ISD (n.6), Engenharia Elétrica (n.6), a Engenharia Elétrica da UNICAMP (n.5), a Engenharia Biomédica da UFRJ (n.4), Engenharia Biomédica da UFABC (n.3) e Informática Aplicada na Universidade de Fortaleza, UNIFOR, (n.3).

Departamento	IES	Aderência	Capacidade	Intensidade	Dimensão	e-ICC
Neuroengenharia	ISD	0,77	0,58	0,8	0,43	0,65
E. Elétrica	UFES	0,63	0,58	0,46	0,8	0,62
E. Elétrica	UNICAMP	0,2	0,7	0,44	0,56	0,5
E. Biomédica	UFABC	0,53	0,83	0,6	0,26	0,55
E. Biomédica	UFRJ	0,5	0,75	0,6	0,55	0,6
Informação A.	UNIFOR	0,4	0,33	0,44	0,6	0,45

Tabela 16: Classificação dos Departamentos com mais de 3 defesas para a temática no índice e-ICC.
Fonte: Elaboração própria.

Assim, considerando o índice final, que visa qualificar o engajamento desses agrupamentos, instalados em seus respectivos departamentos, estão classificados como relevantes para uma pesquisa mais aprofundada: ISD, UFES, UNICAMP, UFABC e UFRJ.

IES	Frequência	Aderência	Capacidade	Intensidade	Dimensão	e-ICC
UFPE	6	0,73	0,7	0,46	0,7	0,65
ISD	7	0,8	0,5	0,82	0,45	0,65
UFES	6	0,63	0,58	0,46	0,8	0,62
UNB	2	0,5	0,5	0,6	0,6	0,55
UFABC	7	0,51	0,6	0,54	0,4	0,52
UFRJ	6	0,33	0,7	0,46	0,57	0,52
UFRGS	3	0,46	0,5	0,46	0,46	0,5
FURG	2	0,3	0,5	0,8	0,3	0,47
UNIFOR	3	0,4	0,33	0,46	0,6	0,45
UNICAMP	12	0,37	0,62	0,36	0,48	0,45
PUC Rio	3	0,33	0,41	0,6	0,4	0,44
UTFPR	2	0,2	0,75	0,4	0,4	0,44

UFJF	2	0,3	0,37	0,2	0,8	0,42
UFSC	3	0,2	0,58	0,46	0,4	0,41
USP	5	0,28	0,6	0,28	0,36	0,38
UNESP	5	0,24	0,65	0,36	0,28	0,38
UFMG	4	0,25	0,43	0,4	0,4	0,37
UFPA	5	0,6	0,5	0,2	0,2	0,36
UFRN	4	0,35	0,43	0,3	0,35	0,36
UFMT	2	0,3	0,37	0,2	0,1	0,25
SENAI CIMATEC	2	0,3	0,37	0,2	0,1	0,25
UFSCAR	2	0,2	0,37	0,2	0,1	0,22
UFRRJ	2	0	0,37	0,2	0,2	0,2
IFSP	2	0	0,37	0,2	0,2	0,2

Tabela 17: Classificação das ICTs segundo a média institucional no índice e-ICC.
Fonte: Elaboração própria.

Dado que a atuação individual dos PPs é fundamental para o estudo, adotamos um critério complementar de seleção, baseado na pontuação individual. Foram priorizados para entrevistas estruturadas os pesquisadores que pontuarem acima de 7, pois apresentam participação mais intensa no campo das ICCs. Esse foi o grupo foco da pesquisa.

PP	Univ.	Doutoramento	Aderência	Capacidade	Intensidade	Dimensão	e-ICC
1	UFPE	2002	1	1	1	1	1
2	UFU	1997	1	1	1	1	1
3	UFRJ	2001	1	1	1	1	1
4	ISD	2011	1	1	1	0,6	0,9
5	UFABC	2011	1	1	1	0,6	0,9
6	UFRJ	2000	1	1	1	0,6	0,9
7	PUC Rio	2000	1	0,5	1	1	0,875
8	UFES	1994	0,4	1	1	1	0,85
9	UFSC	1993	0,6	1	1	0,6	0,8
10	ISD	2013	1	0,5	1	0,6	0,77
11	ISD	2012	1	0,5	1	0,6	0,77
12	ISD	2003	1	0,5	1	0,6	0,77
13	ISD	2013	1	0,5	1	0,6	0,77
14	UFES	1986	1	0,5	0,6	1	0,77
15	UFPE	2003	1	0,5	0,6	1	0,77
16	UNIFOR	2010	0,6	0,5	1	1	0,77
17	UNICAMP	2005	0,4	1	1	0,6	0,75
18	UFMG	2009	1	0,25	1	0,6	0,71
19	UFPE	2009	1	0,25	0,6	1	0,71
20	UFPE	2000	0,6	1	0,6	1	0,7
21	UNIFEI	1999	0,6	1	0,6	0,6	0,7

Tabela 18: Classificação dos pesquisadores-docentes segundo a média individual no índice e-ICC.
Fonte: Elaboração própria.

Como podemos observar, nenhum dos indivíduos analisados faz parte do grupo de recém-formados (n=42). No entanto, ao considerar a lista completa, identificamos quatro casos

com as seguintes pontuações: 0,67; 0,47; 0,42; 0,31. Dois desses pesquisadores, o primeiro e o terceiro, estão vinculados à UFES. Por fim, ao que se refere ao todo (n.112), considerando as médias do conjunto, o resultado é o seguinte:

Aderência	Capacidade	Intensidade	Dimensão	e-ICC
~0,4	~0,55	~0,42	~0,45	~0,45

Tabela 19: Média das variáveis que compõem o índice e-ICC.
Fonte: Elaboração própria.

Esses números indicam que, embora as pontuações relativas a departamentos e IES não sejam altas (acima de 0,7), elas são suficientemente seletivas e abrangentes. Como resultado, sete instituições foram classificadas para uma investigação mais detalhada: ISD (Neuroengenharia); UFES (Engenharia Elétrica); UFRJ (Engenharia Biomédica); UFABC (Engenharia Biomédica); UNICAMP (Engenharia Elétrica). Além disso, ao aplicar um corte de ~20% nos casos individuais, o procedimento adotado viabiliza a pesquisa, assegurando uma amostra qualitativamente relevante. Essa amostra coincide com os agrupamentos selecionados, garantindo que a seleção siga os princípios de isonomia previamente descritos.

11.2. Roteiro das Entrevistas em Profundidade

A. Questões sobre conhecimento e experiência

1. O que te levou a procurar e persistir na carreira de cientista?
2. Você poderia falar um pouco sobre sua trajetória?
3. O que te encaminhou para a pesquisa em Interface Cérebro-Computador?
4. Qual a importância desse tópico na sua carreira?
5. Você considera que foi a pesquisa em ICC que te trouxe mais reconhecimento?
6. Você pretende dar seguimento a pesquisas em ICC? Por quê?
7. Na sua opinião, quais são as perspectivas futuras para esse campo em termos de desenvolvimento científico e tecnológico?
8. Quais são os principais desafios e oportunidades?
9. Você considera a pesquisa em ICC um campo consolidado, de interesse global?
10. Quais são as principais teorias e métodos?
11. Quais são as principais tendências na produção internacional?
12. Como a pesquisa em ICC feita no Brasil e por você se relacionam com tais tendências?
13. De que maneiras as estratégias de cooperação e internacionalização podem ter influenciado a sua pesquisa, no sentido do impacto e relevância dela?
14. Poderia citar quais são os principais congressos e periódicos para os pesquisadores do campo?
15. Qual é a história, em termos de marcos científicos tecnológicos, do campo das ICCs?
16. Qual a relação entre ICCs e reabilitação?

B. Questões sobre Tecnologia e Sociedade

1. Qual a importância das ICCs para a sociedade e o que elas prometem para o futuro?

2. Qual o atual cenário do desenvolvimento das ICCs no sentido de sua viabilização tecnológica e econômica?
3. Há interesse privado no desenvolvimento delas? Se sim, em que intensidade?
4. Qual o papel do patenteamento nisso?
5. De que maneira o contexto de fomento à ciência no Brasil tem impactado a sua pesquisa?
6. Você já recebeu financiamento privado?
7. No que se refere a estrutura de apoio público, o que pode ser melhorado?
8. Você tem preocupações acerca de um eventual mau uso das ICCs? Se sim, quais?
9. O que você pensa sobre o desenvolvimento de ICCs para fins não médicos, como educação e recreação?
10. Uma hipotética expansão do mercado para novos usuários traz quais benefícios e malefícios (se houver) para o desenvolvimento de ICCs para pacientes ou populações vulneráveis, como pessoas com deficiência?
11. Em que sentido os profissionais da saúde e pacientes podem ajudar a pesquisa em ICCs?
12. Gostaria de dizer algo que não foi dito ou perguntado?

Quadro 17: Roteiro das entrevistas estruturadas.
Fonte: Elaboração própria.

11.3. Perfil dos docentes convidados para a pesquisa

Foi feito um levantamento dos docentes que mais orientaram teses e dissertações (+3) no Brasil no tema de ICC entre os anos 2000 e 2020, o que tenham participado de um número substantivo de bancas (+4). Entre eles foram selecionados os pesquisadores com mais publicações na área e que tenham algum registro de patente para participar de entrevistas estruturadas em profundidade (n.21). Objetivando caracterizar o engajamento desses pesquisadores no tema das Interfaces, buscamos informações a nível individual sobre publicações, utilizando os dados disponibilizados no WoS. No gráfico abaixo, podemos observar a % de artigos no tópico de ICC para cada pesquisador e o ano de doutoramento.

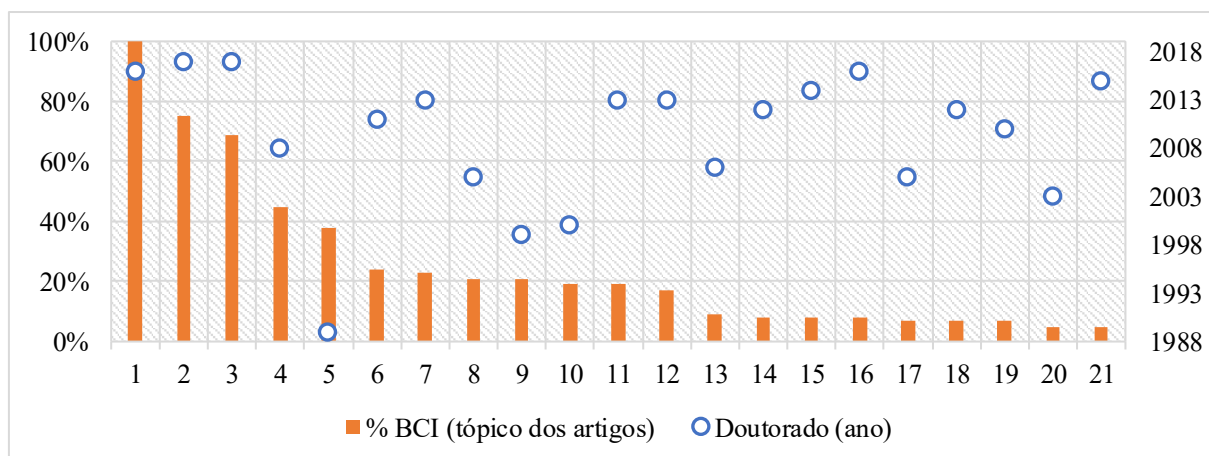


Gráfico 26: Perfil dos pesquisadores: % dos artigos no tópico de BCI.
Fonte: WoS e Plataforma Lattes (Elaboração própria).

No gráfico seguinte, o H-index de cada um deles.

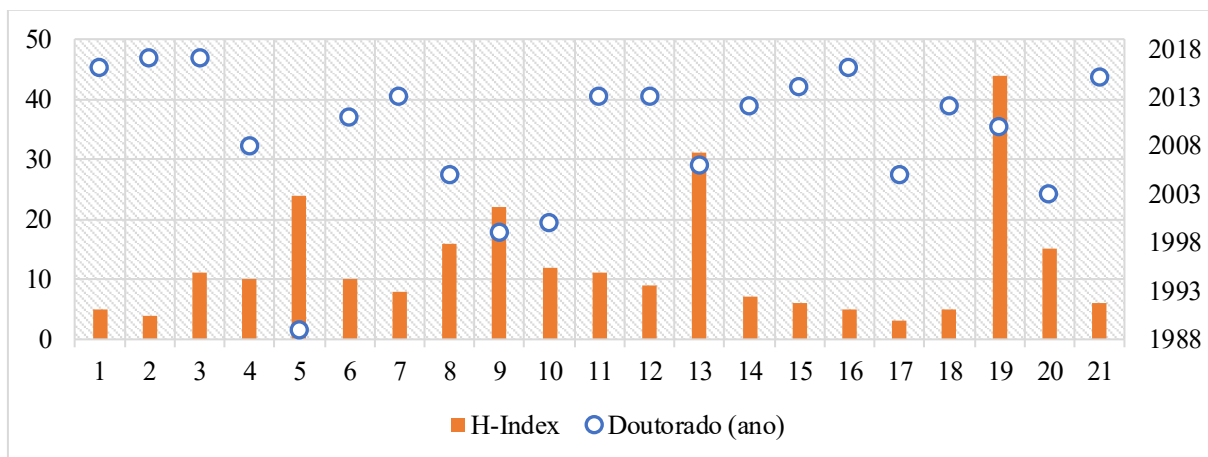


Gráfico 27: Perfil dos pesquisadores: H index.
Fonte: WoS e Plataforma Lattes (elaboração própria).

Com base nesses dados, combinados com os resultados coletados nas entrevistas sobre carreira e atuação, construímos algumas tipificações para explicar a composição desse campo, considerando, inclusive, relações de filiação institucional, colaborações e orientações.

A seguir, o quadro descritivo que preserva o anonimato dos pesquisadores, por perfil: i) engenharia elétrica; ii) engenharia elétrica mais biomédica; iii) neuroengenharia mais bioinformática; iv) jovens doutores.

Núcleo 1: Engenharia Elétrica

- Professor e pioneiro: pesquisador que se doutorou nos anos 80 numa universidade europeia, muito interessado no tópico, bem citado, reconhecido por todos no campo (caso 5).
- Parceiro: pesquisador que se doutorou em meados de 2010, orientado pelo pioneiro, muito interessado no tópico, não tão citado. (caso 4)
- Novas lideranças: pesquisadores que se doutoram em meados de 2010 em universidades europeias, pontualmente interessados no tópico, muito bem citados, foram alunos do pioneiro, mas não deram continuidade a pesquisa em ICC (casos 13 e 19).

Núcleo 2: Engenharia Elétrica mais Biomédica

- Professor e defensor da extensão universitária: pesquisador que se doutorou no final dos anos 90 numa universidade paulista, interessado no tópico, bem citado, orientou no tópico, interessado em problemas sociais (caso 8).
- Parceiro: pesquisadora que se doutorou no final dos anos 90 numa universidade europeia, interessada no tópico, não tão citada, foi levada ao tema por influência de um outro docente, da área médica (caso 9).
- Pupilos: pesquisadores interessados no tópico, que se formaram no decorrer dos anos 2010 na mesma universidade e atuam em universidades instaladas na região (casos 1, 2, 6, 11 e 15).

Núcleo 3: Neuroengenharia e Bioinformática

- Professor e gestor: pesquisador que se doutorou no início dos anos 2000 numa universidade paulista, pontualmente interessado no tópico, não tão citado, é gestor encarregado de um instituto (caso 20).
- Estrangeiro: pesquisador interessado no tópico, que se doutorou com o pioneiro da área e atua num instituto novo, formação muito forte em engenharia de telecomunicações (caso 3).
- Migrantes: pesquisadores pontualmente interessados no tópico, que se formaram no Sudeste e atuam num instituto de neuroengenharia (casos 14, 16, e 18).
- Local: pesquisador pontualmente interessado no tópico, que se formou numa universidade do nordeste (caso 21).
- Destaques: pesquisadores interessados no tópico, que se doutoraram em universidades europeias em meados de 2015, que já orientam e atuam no Nordeste (casos 7 e 12).

Jovens doutores

- Muito interessados: Pesquisadores muito interessados no tópico das ICC/ICM e em início de carreira (Casos 1, 2, 3, 4)
- Interessados: interessados e em início de carreira (caso 6, 7, 11 e 12)
- Pontualmente interessados: pontualmente interessados e em início de carreira (casos 11, 12, 14, 15, 16, 18 e 21).

Quadro 18: Características dos pesquisadores selecionados para a pesquisa (Perfis).
Fonte: WoS e Plataforma Lattes (elaboração própria).

Os grupos, dos quais os pesquisadores analisados participam, são geralmente locais e pequenos. A linha de pesquisa em ICC é quase sempre secundária. 7 dos pesquisadores analisados estão cadastrados em grupos com outras linhas, que não ICC e 4 deles não estão cadastrados em nenhum grupo de pesquisa.

UF	Total Estudantes	Total pesquisadores	Est. ICC	Pesq. ICC
ES	188	97	3	1
MG	41	54	6	6
PA	44	41	0	0
PR	33	36	0	0
RJ	17	50	4	5
RN	11	28	0	8
SP	178	367	4	8

Tabela 20: Recursos humanos mobilizados pelos grupos com alguma linha de pesquisa em ICC.
Fonte: Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq (elaboração própria).

Na maior parte dos grupos predomina outras linhas de pesquisa, algumas delas são correlatas com o tópico das ICC. Isso parece indicar que o interesse da comunidade de pesquisa sobre o tópico é pontual ou vinculado à outras agendas de maior importância.

Observa-se que o grupo mais antigo que tem como uma de suas linhas o tópico de ICC é o da UFES, nos anos 90, seguidos por grupos mineiros em meados de 2007, seguido por um

grupo da UFRJ e São Paulo. Dos grupos, apenas 3 grupos relataram equipamentos avaliados em mais de 100 mil reais, com sede no ISD, UFES e Unicamp. No quadro abaixo, uma listagem por UF.

SP (9 Grupos) 1. Inteligência Artificial a. Saúde; agricultura de precisão. 2. Processos cognitivos e construção do conhecimento a. Psicologia, desenvolvimento humano e educação; relações interpessoais e desenvolvimento moral; psicopedagogia. 3. Processamento adaptativo de sinais a. Em redes inteligentes; aplicados a sistemas de comunicação; bioeletricidade. 4. Processamento de sinais biológicos a. Modelagem; desenvolvimento de equipamentos médicos; instrumentalização. 5. Neurociências a. Instrumentação voltada para tecnologias assistivas e de reabilitação; instrumentação para medicina; cognição. 6. Aprendizado de Máquina a. Processamento digital de Sinais, Interfaces Cérebro-Computador. 7. Neuroimagem a. Epilepsias; doenças neurodegenerativas; doenças neuromusculares, doenças autoimunes. 8. Inteligência Artificial a. Análise de dados; métodos de otimização; arquitetura de computadores; computação de alto desempenho. 9. Validação de testes e equipamentos a. Métodos avaliativos em pessoas com lesão medular e de neurônio motor superior.	ES (5 Grupos) 1. Sensores Ópticos e eletrônicos a. Dispositivos e sistemas ópticos; redes; TICs aplicada à Saúde. 2. Robótica assistiva a. Robôs cooperativos; Robôs móveis; Visão computacional; Engenharia biomédica, Interface Cérebro Computador. 3. Processamento de imagens e reconhecimento de padrões a. Processamento digital de sinais; Engenharia biomédica; Processamento de imagens médicas. 4. Robótica de reabilitação a. Realidade virtual, aumentada e mista; tecnologia assistiva; sistemas ciberfísicos e robótica em nuvem. 5. Aspectos fisiológicos e biomecânicos do movimento humano
MG (3 Grupos) 1. Processamento de Sinais Biológicos a. Neurociência sensorial, Interface cérebro máquina, Neurociência cognitiva. 2. Teoria da detecção a. Processamento de sinais biomédicos, Audiometria objetiva, Interface cérebro-computador independente de visão. 3. Visão Computacional e Aprendizagem de Máquina a. Processamento de sinais.	RJ (3 Grupos) 1. Redes neurais a. Processamento estocástico; Instrumentação eletrônica. 2. Aprendizado de Máquina para aplicações clínicas e em sinais e imagens médicas a. Detecção objetiva de respostas evocadas; Análise de sinais eletroencefalográficos com aplicações em Interfaces Cérebro-Computador.

3. Processamento de sinais neurais
a. Neurotecnologia; Interfaces Cérebro-Máquina.
RN (2 Grupos)
1. Neuromodulação
a. Interface Cérebro-Máquina
2. Neuromodulação dor e distúrbios do movimento;
a. Neuromodulação e transtornos do humor.
PA (1 Grupo)
1. Neurofarmacologia e Neurotoxicologia
a. Comportamento animal; Neurofisiologia doenças neurodegenerativas; neurociências aplicadas a organismos aquáticos.
PR (1 Grupo)
1. Inteligência Computacional
a. Comportamento animal; Neurofisiologia doenças neurodegenerativas; neurociências aplicadas a organismos aquáticos.

Quadro 19: Linhas de pesquisa dos grupos de pesquisa mapeados por UF.

Fonte: Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq (Elaboração própria).

Abaixo um mapa de cor, representando a participação dos pesquisadores em grupos cadastrados no Diretório do CNPq. O número, que inicia a codificação, indica a região do país, a primeira letra a UF e a segunda a instituição. Como se pode notar, o grupos tem geralmente um caráter local, com poucos funcionando como redes mais amplas.

Caso	Vinculação (2021)	Cadastro ativo (n. de grupos por pesquisador)				
		1	2	3	4	5
1	1AC	1AA	1EA			
2	1AA	1AA	1AA	1AB	1AB	
3	2CA	2CA				
4	1B	n/c				
5	1B	1B	1B			
6	1AB	1AB				
7	2CA	2CA				
8	1AA	1AA	1AA	3F		
9	1AA	1AA	1AA	1AA		
10	1D	1D	1D	1EB	1D	1EC
11	1AA	1AA	1AA	3F		
12	2CA	n/c				
13	Z	1B	1B			
14	2CA	n/c				
15	1AB	1AA	1AB			
16	2CA	2CA				
17	1AB	1AA	1AB			
18	2CB	n/c				
19	1B	1B	1B	1B	1B	
20	2CA	2CA	2CB	4G	1AA	
21	2CA	2CA				

Tabela 21: Participação em Grupos de Pesquisa cadastrados no Diretório do CNPq.

Fonte: Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq (Elaboração própria).

Dos pesquisadores cadastrados em algum grupo, 13 participam de grupos com sede no mesmo estado e 4 deles apenas em grupos com sede na mesma instituição. Nota-se que, no caso das universidades paulistas, uma colaboração estreita. Nos demais casos, nota-se um padrão mais internalizado, circunscrito a grupos da mesma universidade. Há duas exceções: de um pesquisador que não participa dos grupos “mais consolidados”, porém participa de grupos de outras instituições, da mesma região; de um pesquisador vinculado a um grupo consolidado, que participa de grupos com sede em outras três. Em outros dois casos, nota-se o mesmo padrão, com pesquisadores vinculados a uma universidade de outra região.

11.4. Triangulação com dados bibliométricos.

Foi realizada uma busca pelo tópico Interface Cérebro-Computador no Web of Science (WoS). A base já conta com um micro tópico, classificado pela equipe técnica do WoS, que facilita o trabalho: “Brain-Computer Interface (1.7.603).” Nota-se uma produção crescente sobre o tópico, que alcançou seu pico na virada para a década de 2020, com uma queda significativa no ano de 2024. A produção (independentemente do tipo) somou, até junho de 2024, 13.617 publicações indexadas no WoS.

A participação do Brasil nesse conjunto é pequena, cerca de 1,75%, ocupando a 21ª colocação. Os países mais importantes são:

- **China:** 23%
- **Estados Unidos:** ~17%
- **Alemanha:** 8,5%
- **Índia:** 5,9%
- **Coreia do Sul:** 5,8%
- **Japão:** 5,7%
- **Inglaterra:** 5,2%

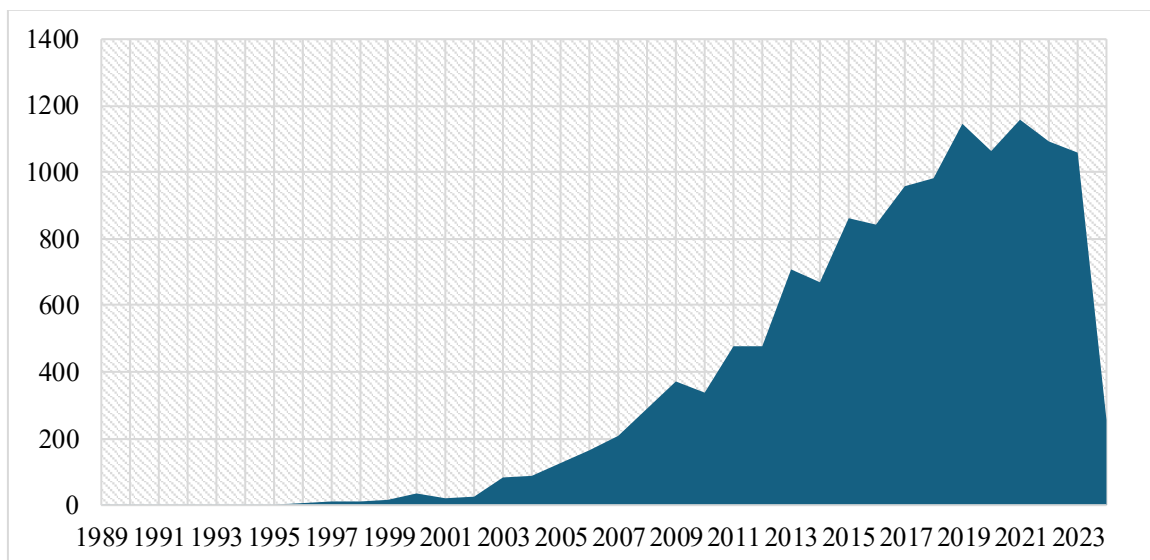


Gráfico 28: Evolução da produção científica sobre ICC indexada no WoS entre 1989 e 2023.
Fonte: WoS (elaboração própria).

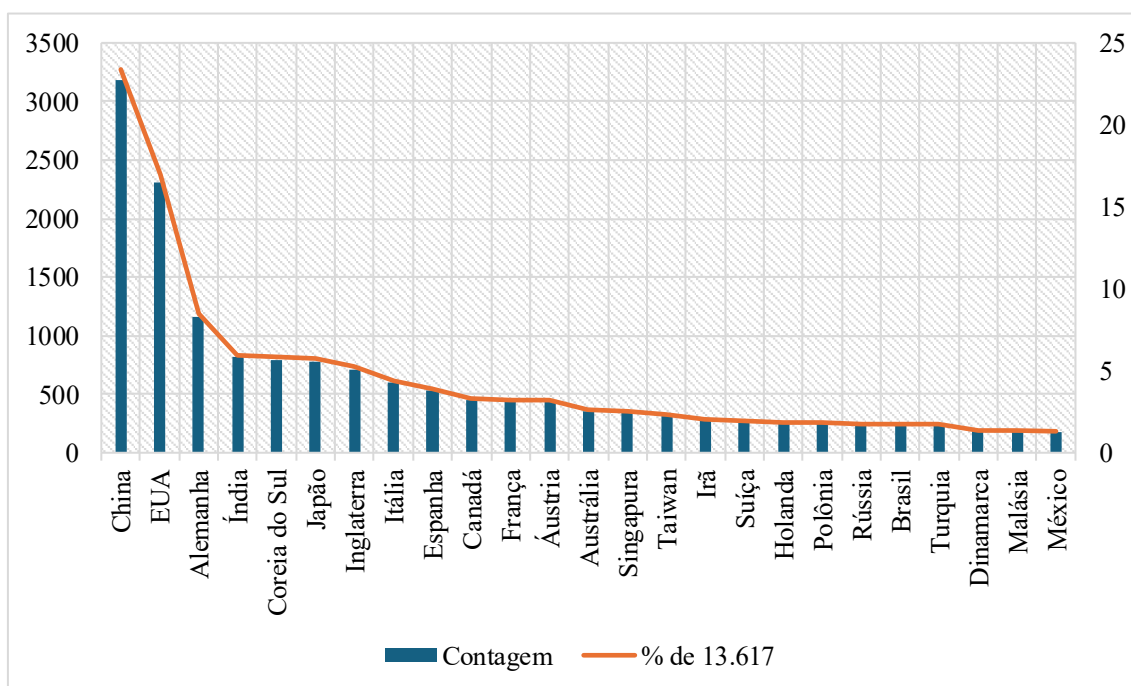


Gráfico 29: Distribuição das publicações entre os 25 países com maiores contagens de publicação no WoS entre 1989 e 2024.
Fonte: WoS (Elaboração própria).

Com o objetivo de delimitar a análise, escolheu-se selecionar apenas os artigos publicados entre 2015 e 2024 para uma análise qualitativa. De um universo de 5.279 artigos, 88 (1,6%) tiveram participação de pesquisadores brasileiros.

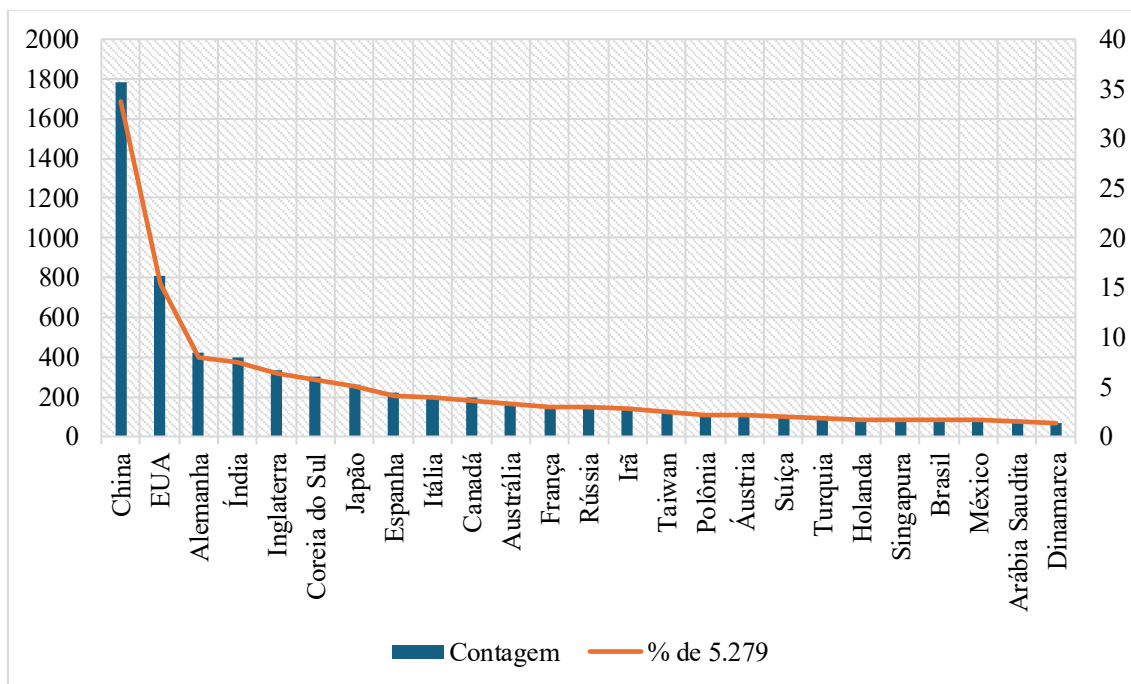


Gráfico 30: Distribuição das publicações entre os 25 países com maiores contagens de publicação no WoS entre 1989 e 2024.

Fonte: WoS (Elaboração própria).

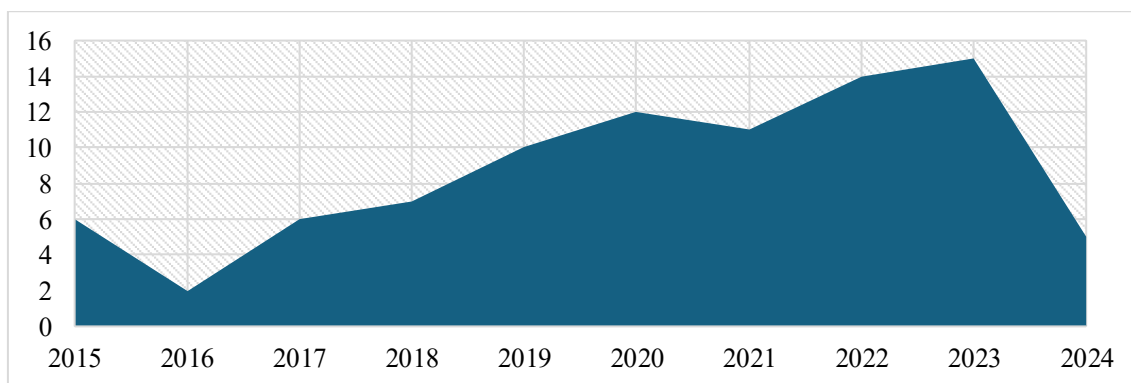


Gráfico 31: Evolução da produção científica brasileira sobre ICC indexada no WoS entre 2015 e 2024.

Fonte: WoS (Elaboração própria).

Das publicações brasileiras, todas classificadas no mesotópico "neuroscanning", predominam as seguintes categorias:

- Engenharia biomédica (36)
- Engenharia elétrica/eletrônica (13)
- Neurociência (15)
- Ciência da computação/aplicações interdisciplinares (10)

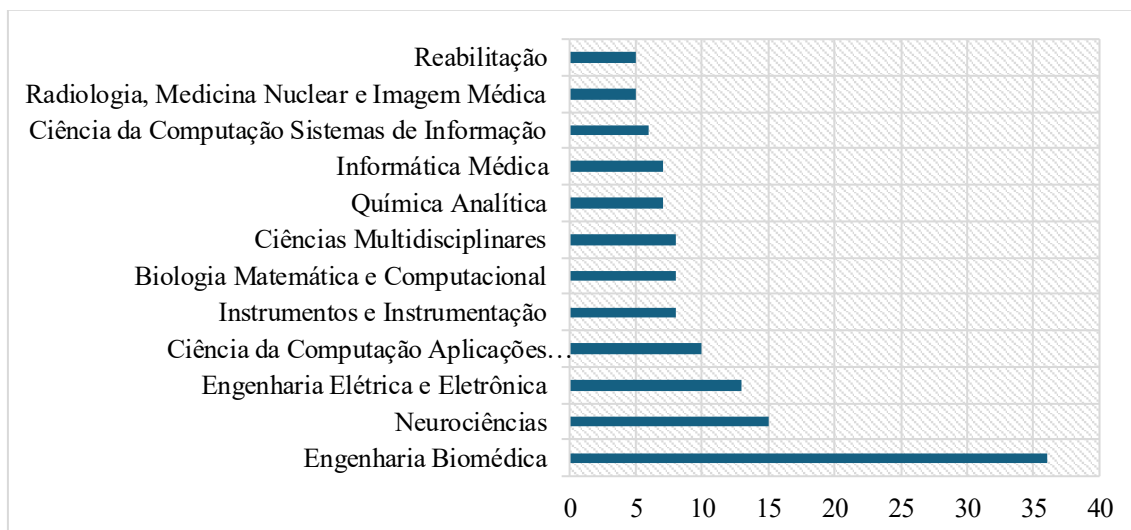


Gráfico 32: Distribuição das publicações entre categorias do WoS dos artigos com participação de brasileiras entre 2015-2024.

Fonte: WoS (Elaboração própria).

As instituições predominantes são:

- UFES (19)
- UNICAMP (17)
- Instituto Santos Dumont (13)
- UFABC (10)
- UFRN (10)

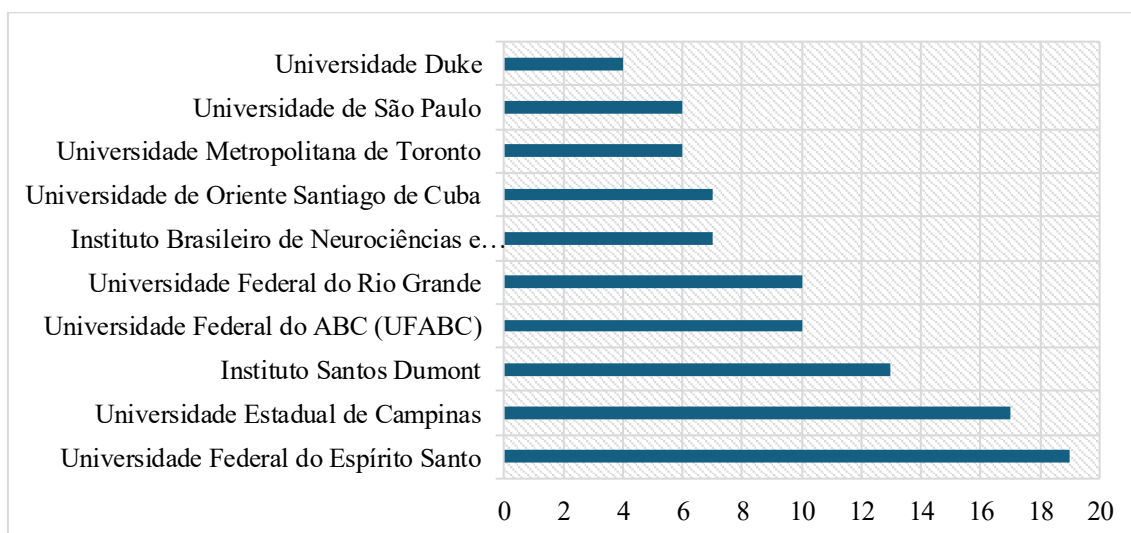


Gráfico 33: Distribuição das publicações entre as 10 instituições com as maiores contagens de artigos indexados pelo WoS entre 2015-2024.

Fonte: WoS (Elaboração própria).

11.5. Análise de Redes

Em sua análise sobre a formação e governança da comunidade neurocientífica brasileira, Rodrigo Saraiva Cheida (2017) demonstra como esta foi historicamente moldada por

imaginários sociotécnicos frequentemente importados, especialmente dos Estados Unidos. O autor argumenta que visões sobre o potencial transformador das neurociências – como a promessa de cura de doenças ou o mapeamento completo do cérebro – foram mobilizadas por atores-chave para justificar grandes investimentos (a exemplo do IINN-ELS/ISD e dos CEPIDs BRAINN e NeuroMat) e legitimar certas agendas de pesquisa, muitas vezes espelhando modelos e prioridades de instituições como o NIH ou iniciativas como a "Década do Cérebro".

A tese de Cheida, baseada em entrevistas e análise documental, expõe a natureza contestada da governança desse campo no Brasil, marcada por disputas sobre modelos de financiamento e gestão, pela concentração de poder em determinados grupos ou figuras proeminentes e por tensões sobre as prioridades de pesquisa (entre ciência básica de fronteira e aplicações mais imediatas). Essas disputas, segundo Cheida, revelam as dificuldades em estabelecer uma política científica coesa e estável para a área, refletindo a complexa coprodução entre ciência, política e interesses sociais no contexto nacional.

Isso se conecta com debate que realizamos sobre a retórica de disrupção e a realidade da CTI nacional, marcada por ‘interrupções’. Um caso emblemático, que ambos os trabalhos tocam, é a dificuldade de “vender o hype”, o imaginário de cura materializado, por exemplo, pelo exoesqueleto apresentado na abertura da Copa do Mundo de 2014. Um tentativa que, segundo os crítico dela, “saltou etapas” e esbarrou na ausência de um ecossistema que lhe desse suporte, visando uma solução realmente funcional e comercialmente viável. Faltavam componentes locais, expertise industrial para produção em escala e um mercado capaz de absorver a tecnologia, além da descontinuidade do financiamento pós-evento. Isso ilustra como os imaginários centrais e a retórica de disrupção, importada dos centros tradicionais, encontra barreiras estruturais na periferia.

A falta de uma base de pesquisa e industrial integrada, somada às disputas entre grupos e a instabilidade das grandes iniciativas (como o exoesqueleto, que não teve continuidade formal), impedem que projetos fecundos alcancem significância.

Foram extraídos os arquivos referentes à produção brasileira na base do WoS e realizada uma análise das redes de coautoria pelo software VosViewer. Os termos foram normalizados pela criação de um thesaurus. A análise revela que o Instituto Santos Dumont (ISD) possui fortes colaborações, com um número alto de citações, destacando a influência do Instituto que, diferentemente das demais instituições (que são universidades). A forte conexão com a

Universidade de Duke (EUA) se deve ao fato do fundador do Instituto ser um professor brasileiro da Duke. O ISD é a instituição mais conectada com as demais nacionais.

A UFES também se destaca, com colaborações extensas que incluem duas universidades estrangeiras: uma canadense (Ryerson) e uma cubana (Oriente). Aparentemente, a UFES tem poucas colaborações com as universidades paulistas, exceto com a USP. ISD e UFES possuem colaborações fortes. A UNICAMP e a UFABC têm uma boa combinação de links, indicando uma forte colaboração entre as duas instituições, com citações significativas. Considerando que o Brazilian Research Institute for Neuroscience and Neurotechnology (BRAINN) é hospedado pela UNICAMP e que instituições associadas como a UFABC estão envolvidas, há um certo esforço de integração acadêmica entre as paulistas, ‘liderada’ pela UNICAMP.

Cluster	Instituição	Links	Força do Link	Citações
1	ISD	7	15	189
	UNI. DUKE	2	5	112
	UFRN	1	1	41
2	UFES	4	18	212
	UNI. ORIENTE	3	11	110
	UNI. RYERSON	4	11	123
3	UNICAMP	4	22	222
	UFABC	6	16	180
	UFOP	3	7	66
4	BRAINN	4	16	98
	USP	6	10	37

Tabela 22: Clusters e instituições com os artigos mais citados.
Fonte: WoS (Elaboração própria).



Gráfico 34: Relações de coautoria entre instituições de pesquisa.
Fonte: WoS (Elaboração própria).

No contexto brasileiro, há uma forte integração dos métodos computacionais com a biomecânica e a engenharia biomédica. A maior parte das publicações é de universidades

públicas, com a exceção de um Instituto Privado, há colaborações com hospitais. Há um esforço metodológico relevante para melhorar a precisão dos sistemas, inclusive em ambientes não controlados, como a casa do usuário.

A análise de conteúdo revela que a pesquisa realizada por instituições brasileiras se concentra em técnicas não invasivas, sendo o eletroencefalografia (EEG) o método de aquisição predominante. A técnica de espectroscopia funcional no infravermelho próximo (fNIRS) é de uso secundário, mas pode ser combinada com EEG, servindo para mensurar alterações da oxigenação do sangue e relacioná-las com a atividade neuronal.

Dada a predominância de técnicas não invasivas, que trabalham com sinais mais suscetíveis ao ambiente, técnicas específicas de filtragem, extração e processamento de características são fundamentais, como o Unscented Kalman Filter (UKF), Acurrentropy, Common Spatial Pattern (CSP), a análise dos ritmos Alpha/Delta e de padrões temporais (Fourier). As principais técnicas de aprendizado de máquina são Support Vector Machine (SVM), Convolutional Neural Network (CNN), Transformer e Fuzzy Logic.

O foco é desenvolver ferramentas para melhorar a comunicação e assistência de indivíduos com deficiência que sejam de baixo custo e práticas, considerando as exigências de funcionamento no mundo real. Aplicações como sistemas de soletração, ambientes virtuais e controle de dispositivos são destaques (como cadeiras de rodas e braços biônicos). Entre os tipos de ICC, aqueles baseados em SSVEP (Potenciais Evocados Visuais Estáveis) são preferidos pelos pesquisadores. O SSVEP utiliza estímulos visuais para evocar respostas cerebrais. Outro método utilizado é o controle multimodal, com a aquisição de gestos e voz para aumentar a confiabilidade do sistema, o que envolve a inovação em sensores como câmeras e acelerômetros.

Outro aspecto importante é a bidirecionalidade das interfaces, já que o feedback em tempo real dos usuários impacta positivamente o treinamento e, portanto, o desempenho dos usuários e o sentimento deles com as ICC. Isso é essencial para que a comunicação de pessoas com dificuldades graves seja fluida e para que a experiência com um jogo seja em tempo real e dinâmica. A técnica de Imaginação Motora (MI), que envolve o usuário imaginar movimentos físicos sem realmente executá-los, ganha com o feedback, pois pode facilitar o aprendizado ao permitir ajustes conscientes para a realização de uma tarefa motora. Esse feedback pode ser visual, auditivo ou tátil. Com isso, é possível controlar uma prótese ou computador/soletrador.

Há diversas experiências com neurofeedback (quando o usuário recebe informações sobre suas ondas cerebrais) que atestam o grande potencial reabilitador das ICC. Para a difusão delas, é preciso que sejam móveis e customizáveis. Também há estudos sobre as funções cerebrais, nos quais as ICC são um instrumento de pesquisa básica ou fundamental e as interações do cérebro com o sistema nervoso periférico.

12. Transparência – Uso do GPT (Open AI)

A difusão dos usos de IA na pesquisa acadêmica é ampla. Em todas as áreas do conhecimento, exatas, biológicas e humanas, os modelos de IA, em rápida evolução – e dominadas por sistemas proprietários – são utilizados para as mais diversas tarefas, das mais simples (correção de um texto) as mais complexas (simulação de estruturas bioquímicas). Apesar da difusão, as orientações de uso, apesar da reflexão ética consolidada – como a exigência da transparência e responsabilidade do autor sobre o material, essenciais – os relatos sobre como são utilizadas são mais raros.

Nesse sentido, o presente esforço busca detalhar o padrão de uso do autor, para que outros pesquisadores possam contribuir com críticas, modificações e adendos. Buscou-se ater ao essencial, dado que o uso dos modelos – particularmente o GPT da Open AI – foi distribuído ao decorrer de um ano de trabalho. Com o tempo, o tipo de comunicação, que o autor buscava do modelo, também se transformou, assumindo um lugar iterativo, como por exemplo a simulação de arguições – que foram muito provocativas e ajudaram no aprofundamento da argumentação, a seguir uma das listas de questões, ilustrativa desse processo na sua fase mais madura.

É necessário que os pesquisadores reportem e sejam transparentes no uso de IA para que os debates sobre como avancem. O mais preocupante não o uso da IA, pois quando feito de maneira autocrítica abre caminhos para estratégias de correção, mas o uso não declarado, que não é produtivo. Ao mesmo tempo é preciso superar as críticas dogmáticas, como se as IAs fossem o golpe de morte contra a criatividade, que estigmatizam o uso segundo uma concepção de inteligência datada. Claro que as IAs, no mundo atual, são sim um passo importante em direção ao mundo de maior reprodutibilidade técnica, mas também podem contribuir para comunicações desafiadoras, apesar de artificiais.

12.1. Nota do autor (fev.26)

Uma questão importante, talvez a mais importante, é ‘qual foi a contribuição da IA para o resultado?’. Para responder essa pergunta, vou quebrar o protocolo e escrever, mais uma vez, em primeira pessoa. Para ser direto, o uso da IA foi mais relevante para a versão da ‘Banca de Defesa’ do que a ‘Versão final’, isso se deve por um fato muito simples, a reescrita. A defesa aconteceu em *agosto de 2025*, o depósito em *fevereiro de 2026*. Entre, trabalhei de forma exaustiva no texto, num processo de revisão artesanal, de múltiplas leituras e versões. Isso se

deveu por razões que decorreram na Defesa. A crítica mais dura, de um dos membros da Banca, se concentrou na forma como a análise estava construída nos últimos Capítulos (7 e 8), os das matérias e entrevistas, e solicitou uma reestruturação do texto, no sentido de uma maior apropriação do enquadramento teórico. A crítica que recebi era que o texto estava demasiado empírico e que os conceitos que tinha me proposto a aplicar e o ‘pensar com’ eram um tanto ‘decorativos’ e ‘instrumentais’. A crítica foi justa e lembra, algo que um dos meus interlocutores havia dito, sobre o padrão que observava em seus estudantes, de um ‘excesso de empiria’ e uma baixa atenção para os ‘mecanismos ocultos’. Há algumas razões do porquê a versão da Banca ter apresentado esse problema, que não me eximem da responsabilidade, mas ajudam a situá-lo. O primeiro foi porque, sim, a ferramenta foi utilizada para “acelerar” o processo de escrita. Apesar da pesquisa ter sido minha e o processo de construção iterativo, havia a pressão do prazo, de modo que diferentemente dos capítulos teóricos e de revisão da literatura, que forma feitos à moda antiga, partindo de fichamentos manuais e diferentes versões da redação, os últimos estavam um tanto “crus”.

Houve um elemento contextual que possibilitou a revisão estrutural do texto. A UnB passou por uma longa greve dos servidores e eu, durante o período, estive fazendo consultorias pontuais. Sem esse tempo e disponibilidade não teria sido possível dedicar o tempo adicional que uma revisão profunda exige, de modo que, o detalhamento de como o GPT foi utilizado, tornou-se mais uma memória da ‘versão problemática’ do que a fotografia da estrutura e motor do texto na versão final. O leitor atento perceberá, pela comparação dos mapas mentais com a estrutura final dos capítulos, que em diversos pontos foram implementadas alterações, principalmente no Capítulo 8, que foram muito substantivas. Dito isso, a seção de transparência foi mantida – já que o texto aprovado pela Banca implicou um componente maior de IA – mas o autor destaca o esforço adicional que se seguiu no intervalo de tempo. Acredito que o texto na sua versão final está muito mais maduro e satisfaz as críticas apontadas.

12.2. Ciclo de uso

O ciclo de uso consistiu em coibir o modelo a elaborar respostas ou soluções de maneira automática. Buscou padronizar a comunicação, de modo que as demandas tiveram um processo comum: “perguntar → refinar → auditar”. Isso é fundamental para demandas que exigem funções como síntese. Por padrão, pediu-se do modelo que, antes da execução, detalha-se como iria executá-la e se o usuário estava de acordo. Quando isso envolveu síntese o usuário alternou entre alguns “modos” personalizados, quando o problema é factual – se a máquina recuperou

corretamente uma informação – um texto de consistência, se teórico-argumentativo uma rodada de perguntas – para que o usuário formulasse a solução. Isso torna as interações mais longas, com rodadas múltiplas e ajustes. Além disso, o próprio uso da IA se tornou um objeto de pesquisa, de modo que os projetos foram estruturados de modo a viabilizar o relato das etapas e do fluxo de trabalho. Com isso, buscou-se tornar a interação com o modelo num dado empírico.

Abaixo, um quadro resumo de como o modelo foi utilizado em cada projeto:

Dimensão	Notícias	Entrevistas	Correção
Ritmo	Ciclos pontuais de atualização	Rodadas médias (matriz → ajuste)	Altas rodadas micro
Unidade de trabalho	Pacote de fontes	Matriz/conceito	Parágrafo/nota
Foco metodológico	Rastreabilidade factual	Validade qualitativa & ética	Coerência teórica & estilo
Formato mais pedido	Bullet resumo + referência ABNT	Tabelas narrativas + glossário	Texto corrido + notas
Prompt-marca	“verifique consistência; cite fontes”	“defina operacionalmente”	“par. corrido, sem tabela”
Produto	Dossiê noticioso atualizado	Quadro analítico + nota ética	Seções revisadas

Quadro 20: Comparação do uso no GPT por projeto.
Fonte: Elaboração própria

12.3. No capítulo 7

O tratamento das 121 matérias sobre BCIs seguiu um fluxo linear: o GPT-4-o3 realizou uma varredura num relatório preparado pelo autor, com informações destacadas para cada uma das matérias. O modelo atuou recuperando o texto e gerando sínteses com tema, contexto, argumentos e marcador de origem. Depois, esses resumos foram consolidados por revista e ordenados cronologicamente; na sequência, atendendo a requisições pontuais o modelo executou buscas direcionadas.

Instrução-Mestre — Notícias BCIs Chat, iremos tratar um documento contendo uma relação de matérias jornalísticas sobre Brain Computer Interfaces (Interfaces Cérebro Computador). A estrutura do documento é a seguinte: 121 matérias distribuídas entre 10 fontes (IEE Spectrum; Discover Magazine; MIT Technology Review; New Scientist; Popular Science; Science Focus; Science News; Scientific American; Smithsonian Magazine; Wired). As informações referentes as matérias foram sintetizadas em (1) tema e contexto; 2 (2) argumentos principais. Note que as matérias estão elencadas, com os títulos entre "" (aspas), seguido da data de publicação entre parênteses.

Quadro 21: Instrução-Mestre para o GPT: matérias sobre ICC.
Fonte: Elaboração própria.

Paralelamente, a hierarquia temática do relatório foi convertida pelo GPT num mapa mental, utilizado pelo autor na redação dos resultados. Todas as etapas foram submetidas a ciclos de revisão: o modelo explicava suas escolhas, o pesquisador validava ou solicitava ajustes, mantendo a rastreabilidade. O mapa mental exportado, que serviu de base para a redação, foi o seguinte:

1. Avanços Tecnológicos

1.1 Métodos de Implantação

- **Invasivos**

- Neuralink: Implantes intracorticais sem fio; primeiros testes humanos com falha de 85% dos eletrodos.
- Matriz de Utah: Eletrodos tradicionais com cirurgia craniana.

- **Minimamente Invasivos**

- Stentrode: Implantação via vasos sanguíneos.
- Neurograins: Microchips distribuídos no córtex.
- Robô Flexível: Dispositivo expansível via pequeno orifício craniano.

- **Não Invasivos**

- EEG de Grafeno: Sensores secos para aplicações militares.
- Touca EEG Autocalibrável.

1.2 Decodificação de Sinais

- **Escrita Mental**

- Stanford: 90 caracteres/min via imaginação de caligrafia.
- BrainGate: 78 palavras/min usando ECoG e *deep learning*.

- **Fala Interna**

- Decodificação direta de palavras via córtex auditivo.

- **Reconstrução de Imagens**

- Uso de fMRI e IA para interpretar pensamentos visuais.

1.3 Aplicações Clínicas

- **Reabilitação Motora**

- Ponte Digital Cérebro-Medula: Restauração de movimentos em paraplégicos.
- Exoesqueletos Controlados por EEG.

- **Comunicação Assistida**

- Pacientes Locked-in: Sistema de feedback para formação de palavras.
- Conversão de sinais neurais em fala sintética.

- **Restauração Sensorial**

- Braço robótico com feedback tátil.

1.4 Integração com IA

- Algoritmos de Deep Learning: Redes neurais convolucionais para decodificação de intenções motoras.
- Modelos de Machine Learning: Adaptação a padrões neurais individuais.

2. Desafios Técnicos

2.1 Estabilidade e Durabilidade

- Migração de Eletrodos: Neuralink reportou 85% de desprendimento.
- Degradação de Materiais: Resposta imunológica a implantes.

2.2 Precisão e Ruído

- Interferência em EEGs: Crânio como barreira para sinais de alta resolução.
- Calibração Contínua: Necessidade de ajuste algorítmico para usuários individuais.

2.3 Infraestrutura e Acesso

- Recarga de Dispositivos: Implantes sem fio exigem atualizações frequentes.
- Custo Elevado: Implantes invasivos comercializados por ~\$50k.

3. Questões Éticas e regulatórias

3.1 Privacidade e Neurodireitos

- Battle for Your Brain: Defesa de direitos contra exploração de dados neurais.
- Lei do Colorado (2024): Dados neurais classificados como "sensíveis".

3.2 Riscos Sociais

- Vigilância Neural: Uso militar para monitoramento cognitivo.
- Desigualdade Tecnológica: Acesso restrito a BCIs de alto custo.

3.3 Regulamentação

- FDA: Exigências rigorosas para aprovação de implantes.
- Neurodireitos: Propostas de proteção à liberdade cognitiva.

4. Atuação de Empresas e Instituições

4.1 Empresas

- **Neuralink**
 - Primeiro teste humano em 2024; críticas por falta de transparência e falhas técnicas.
- **Synchron**
 - Stentrode aprovado pela FDA (2020); concorrência direta com Neuralink.
- **Precision Neuroscience**
 - Implante ultrafino sobre o córtex.

4.2 Instituições Acadêmicas

- Stanford: Liderança em escrita mental e algoritmos de IA.
- MIT: Pesquisa em BCIs bidirecionais e ética.
- EPFL: Desenvolvimentos em robótica.

5. Cronologia de Marcos ou Eventos (2020–2024)

Ano	Marco Tecnológico ou Evento	Descrição	Fontes Citadas
2016	Macacos digitam textos mentalmente	Pesquisadores de Stanford demonstram que macacos podem digitar trechos de Shakespeare usando BCIs, antecipando aplicações em humanos.	<i>Science Focus</i>
2017	Comunicação para pacientes <i>locked-in</i> com fNIRS	Sistema baseado em espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) permite respostas "sim/não" em pacientes totalmente paralisados.	<i>New Scientist</i>
2018	Terceiro braço robótico controlado mentalmente	Estudo japonês permite controle de um braço robótico adicional via BCI, explorando expansão motora humana.	<i>Science Focus</i>
2019	Neuralink anuncia ambições além da medicina	Elon Musk revela planos para integrar BCIs com IA, visando aprimoramento cognitivo e comunicação cérebro-máquina.	<i>New Scientist</i>
2020	Stentrode (Synchron) via vasos sanguíneos	Primeiro implante cerebral minimamente invasivo, evitando craniotomia, testado em pacientes com ELA.	<i>IEEE Spectrum, MIT Technology Review</i>
2021	Recorde de digitação mental (90 caracteres/min)	Paciente tetraplégico da Stanford atinge velocidade próxima à escrita manual usando imaginação de caligrafia.	<i>Discovery Magazine, MIT Tech Review</i>
2021	NeuroSWARM3: Nanossensores atravessam barreira hematoencefálica	Sensores microscópicos monitoram neurônios sem cirurgia, desenvolvidos para aplicações não invasivas.	<i>Science Focus</i>

2022	Decodificação de fala via ECoG (78 palavras/min)	Algoritmos de IA convertem sinais do córtex auditivo em palavras completas, acelerando a comunicação assistida.	<i>MIT Technology Review</i>
2022	Switches ópticos dissolvíveis	Implantes de silício biodegradável estimulam neurônios com luz, eliminando necessidade de modificação genética.	<i>MIT Technology Review</i>
2023	Neuropixels: Monitoramento de milhares de neurônios	Sensor de alta resolução capta atividade neural em larga escala, revolucionando pesquisa em dinâmica cerebral.	<i>IEEE Spectrum</i>
2023	Neuralink obtém aprovação da FDA para testes humanos	Após críticas por segurança, a empresa inicia testes clínicos com foco em restauração motora e visual.	<i>Wired, Popular Science</i>
2023	Primeiro robô controlado por organoide cerebral	Pesquisadores chineses conectam um mini-cérebro cultivado em laboratório a um robô, explorando neurocomputação híbrida.	<i>Science Focus</i>
2024	Lei do Colorado sobre privacidade neural	Primeira legislação a classificar dados neurais como "sensíveis", exigindo proteção contra uso comercial.	<i>Popular Science, Wired</i>
2024	Implante humano da Neuralink (Noland Arbaugh)	Primeiro voluntário humano controla cursor e jogos via BCI, mas enfrenta falha de 85% dos eletrodos.	<i>Wired, New Scientist</i>
2024	Ponte digital cérebro-medula restaura movimentos	Implante conecta córtex motor à medula espinhal, permitindo que paraplégicos andem novamente.	<i>MIT Technology Review, IEEE Spectrum</i>
2024	Touca EEG autocalibrável (Universidade do Texas)	Dispositivo não invasivo elimina necessidade de calibração individual, democratizando acesso a BCIs.	<i>Popular Science</i>

6. Aplicações Futuras e Tendências

6.1 Ampliação Cognitiva

- *Terceiro Braço Robótico*: Controle mental para multitarefas.
- Realidade Virtual: Navegação via mapas mentais.

6.2 Neurocomputação Híbrida

- Organoides Cerebrais: Controle de robôs por tecido neural.

6.3 Usos Não Médicos

- Militar: Controle de drones por soldados.
- Entretenimento: Jogos controlados por EEG.

7. Recomendações

7.1 Prioridades Técnicas

- Desenvolvimento de materiais biocompatíveis para implantes.
- Algoritmos autocalibráveis para reduzir dependência de calibração manual.

7.2 Ética e Regulamentação

- Criação de diretrizes globais para neurodireitos.
- Transparência em testes clínicos e dados publicados.

7.3 Democratização

- Incentivo a projetos de código aberto (ex: PiEEG, HackEEG).
- Parcerias público-privadas para reduzir custos de acesso.

Quadro 22: Mapa mental exportado pelo GPT: matérias sobre ICC.
Fonte: Elaboração própria.

12.4. No capítulo 8

O usuário realizou a coleta e a transcrição das entrevistas e, em blocos sucessivos, enviou-as ao ChatGPT, que tratou cada bloco isoladamente para evitar contaminação entre casos. O modelo aplicou correções mínimas de ortografia e sintaxe, anonimizou nomes e instituições e, em seguida, sintetizou cada resposta preservando o estilo original, removendo redundâncias e destacando o argumento central. A partir dessas sínteses, realizou-se uma codificação temática agrupando unidades de sentido em categorias como “burocracia”, “infraestrutura” e “autonomia inclusiva”. Na fase seguinte, o GPT integrou essas categorias em narrativas transversais que explicitaram padrões, tensões e exceções, sempre redigidas em texto corrido, conforme preferência do pesquisador.

Durante todo o processo o usuário revisava cada entrega, ajustava foco e profundidade e aprovava a redação final. A responsabilidade pela coleta de dados e definição das questões teóricas permaneceu com o usuário, enquanto o GPT assumiu a maior parte da limpeza, síntese inicial e redação assistida, sempre sob validação.

Instrução-Mestre — Entrevistas

1. Ambiente e Processamento de Dados

1.1. Processamento Temporário:

- 1.1.1. Todos os dados serão processados de forma temporária durante a execução da análise.
- 1.1.2. Nenhuma informação será armazenada ou retida nos servidores após a conclusão da tarefa.

2. Origem dos Dados:

- 2.1. As informações são respostas a perguntas abertas oriundas de entrevistas em profundidade.
- 2.2. O idioma utilizado em todo o processo é o português brasileiro.

3. Procedimento de Análise das Respostas

1.1. Tratamento Individualizado:

- 1.1.1. Cada resposta deve ser analisada e sintetizada de forma isolada, sem que os dados de uma entrevista influenciem ou "contaminem" os de outra.
- 1.2. Preservação do Estilo e Conteúdo Original:
 - 1.2.1. Mantenha o estilo, os argumentos e a composição textual originais das respostas.
 - 1.2.2. Realize ajustes pontuais na concordância, no fluxo e na síntese para melhorar a clareza, sem alterar o conteúdo ou a intenção das respostas.

2. Síntese Focal:

- 2.1. Identifique e preserve o argumento principal de cada resposta.
- 2.2. Exclua informações secundárias, redundantes ou anedóticas que não sejam essenciais para a compreensão do tema central.

3. Anonimização e Ética

3.1. Proteção de Identidade:

- 3.1.1. Remova ou substitua referências diretas a pessoas, instituições ou qualquer outro elemento que possa comprometer a confidencialidade dos entrevistados.
- 3.1.2. Assegure que o resultado seja desprovido de informações que possam identificar os participantes.

4. Orientações Metodológicas

- 4.1. Utilize técnicas recomendadas em pesquisa qualitativa, como a análise de conteúdo e a categorização temática, para garantir a validade e a confiabilidade dos resultados.
- 4.2. A síntese dos dados deve ser clara, coesa e objetiva, permitindo uma interpretação precisa dos dados sem perder a essência das respostas originais.
- 4.3. Mantenha a integridade dos dados durante todo o processo, seguindo práticas de análise que garantam a qualidade e a consistência dos resultados.
- 5. Procedimento Inicial e Validação**
- 5.1. Antes de iniciar o processamento, confirme o entendimento completo destas instruções e do escopo do projeto.

Quadro 23: Instrução-Mestre para o GPT: Entrevistas.
Fonte: Elaboração própria.

O mapa mental exportado, que serviu de base para a redação do texto, foi o seguinte:

- 1. Perfil dos Entrevistados e Suas Trajetórias**
 - a. Formação multidisciplinar (engenharia, computação, matemática, biomédica)
 - b. Ingresso na área via iniciações científicas, projetos de robótica e processamento de sinais
 - c. Motivação central: fascínio pela neurociência e desejo de impactar pessoas com deficiências
 - d. Desenvolvimento de pesquisas envolvendo aprendizado de máquina, análise de sinais (EEG) e aplicações assistivas
 - e. Foco na promoção de autonomia e inclusão, unindo teoria e prática com objetivos sociais e clínicos
- 2. Histórico e Consolidação do Campo**
 - a. Primeiros registros de atividade elétrica cerebral (Hans Berger)
 - b. Surgimento do termo “Interface Cérebro-Computador” (Jacques Vidal)
 - c. Pesquisas pioneiras (Jonathan Wolpaw, Klaus-Robert Müller, John Chapin, Miguel Nicolelis)
 - d. Papel das universidades públicas brasileiras em aplicações de assistência e reabilitação
 - e. Estado atual: maturidade em algumas frentes (neuroreabilitação), mas falta de consolidação em larga escala
- 3. Técnicas e Desafios Tecnológicos**
 - a. Modalidades invasivas e não invasivas (EEG, implantes intracorticais)
 - b. Ruídos e métodos de pré-processamento (artefatos de movimento, piscadas, interferências elétricas)
 - c. Paradigmas principais (P300, SSVEP, imagética motora)
 - d. Integração com outras modalidades (EMG, NIRS)
 - e. Limitações de resolução e necessidade de avanços em ciência dos materiais
- 4. Autonomia e Aplicações Clínicas**
 - a. Soluções de mobilidade (cadeiras de rodas controladas por sinais cerebrais)
 - b. Sistemas de comunicação para paralisia severa
 - c. Reabilitação motora em AVC e lesões medulares (imagética motora e feedback em tempo real)
 - d. Redução do tempo de recuperação e integração com outras terapias
 - e. Perspectivas de uso domiciliar e em larga escala
- 5. Custos, Importação e Dependência de Fornecedores**
 - a. Equipamentos de EEG de alta densidade e GPUs de alto desempenho
 - b. Dependência de fornecedores estrangeiros (G.tec, Emotiv, Neurosky, OpenBCI)
 - c. Sobrecustos devido à importação e à burocracia
 - d. Escassez de recursos para certificação de equipamentos médicos
 - e. Iniciativas nacionais para reduzir a dependência externa (desenvolvimento de software próprio)

6. Machine Learning, IA e Bases de Dados

- a. Identificação de padrões complexos em sinais cerebrais de baixa amplitude
- b. “Caixas pretas” e necessidade de transparência nos algoritmos
- c. Bases de dados pequenas e heterogêneas, dificultando comparações
- d. Protocolos de padronização e tentativas de integração de princípios de neurociência
- e. Desafios de reprodutibilidade e colaboração internacional

7. Neuralink e o Hype em ICCs

- a. Implantes cerebrais invasivos e promessas de aprimoramento mental
- b. Riscos de expectativas irreais para o público e investidores
- c. Desafios técnicos (riscos cirúrgicos, durabilidade dos eletrodos)
- d. Sigilo versus abertura de dados e implicações para a credibilidade do campo
- e. Papel do hype: estímulo a inovações, mas também possibilidade de frustração

8. Questões Éticas, Privacidade e Segurança

- a. Coleta de dados cerebrais sensíveis (estados mentais, emoções, predisposições cognitivas)
- b. Necessidade de regulamentações específicas, consentimento informado e protocolos de segurança
- c. Liberdade cognitiva e riscos de manipulação comportamental
- d. Criptografia, arcabouços legais e responsabilidade pública
- e. Falta de normativas claras para pesquisa clínica e gestão de dados no Brasil

9. Sociedade, Educação e Trabalho

- a. Aplicações em jogos (imersão e controle mental)
- b. Educação (monitoramento de atenção, adaptação de conteúdo, inclusão)
- c. Trabalho (avaliação de estresse, fadiga e concentração)
- d. Benefícios e preocupações éticas (privacidade e consentimento)
- e. Uso de ICCs fora do ambiente clínico e impactos na vida cotidiana

10. Universidade, Formação e Responsabilidade Social

- a. Desafios na docência universitária (financiamento escasso, burocracia, sobrecarga de trabalho)
- b. Projetos de extensão que aproximam tecnologia de comunidades e escolas
- c. Importância de protocolos éticos e participação de usuários e profissionais de saúde
- d. Colaboração interdisciplinar (engenharia, psicologia, neurociência, direito)
- e. Parcerias com empresas e startups para acelerar transferência de tecnologia

11. Perspectivas Futuras

- a. Melhorias em técnicas não invasivas para uso cotidiano (integração de EEG, EMG, NIRS)
- b. Possíveis aplicações invasivas mais precisas em contextos clínicos avançados
- c. Ampla adoção no mercado: redução de custos, padronização e políticas públicas específicas
- d. Necessidade de marcos regulatórios e cultura de transparência e responsabilidade
- e. Expansão do alcance das ICCs em saúde, educação, entretenimento e trabalho

Quadro 24: Mapa mental exportado pelo GPT: Entrevistas.

Fonte: Elaboração própria.

12.5. Na revisão textual

Ao final, com a versão final do texto, foi criado no GPT um projeto adaptado para a revisão textual. O objetivo foi assistir o usuário na correção ortográfica e identificação de problemas críticos do texto. Em anexo, como arquivos do projeto, foi enviado um lista de problemas criada pelo autor e o sumário da tese, com o intuito que o modelo desse advertências personalizadas durante o processo. Também buscou-se otimizar a redação, eliminando redundâncias.

A correção foi feita em blocos de até 1500 palavras, de modo a não sobrecarregar o modelo e conservar a rastreabilidade de versões. O uso das *tags* `<del>` (sugestões de exclusão pelo GPT, critério de redundância) e `<ins>` (sugestões de mudança do GPT, segundo o critério de coerência) possibilitou a decisão final do usuário pela adoção ou não do texto modificado. O modelo operou com as seguintes diretrizes: manutenção do estilo autoral; clareza argumentativa e padronização da voz (terceira pessoa, observador externo, tom acadêmico).

A seguir o leitor pode consultar a instrução-mestre dessa tarefa.

Instrução-Mestre — *Revisão Inteligente*

1. Propósito geral

- 1.1. Atuar como revisora inteligente de blocos de até 2 000 palavras em português-brasileiro, assegurando:
- 1.2. Correção gramatical (incluindo crase, pontuação e ortografia).
- 1.3. Padronização estilística — sempre em terceira pessoa do singular, perspectiva de observador externo, tom acadêmico.
- 1.4. Clareza argumentativa — identificar trechos confusos, redundantes ou logicamente frágeis e propor soluções.
- 1.5. Preservação do estilo autoral, potencializando-o com equilíbrio.

2. Ciclo de trabalho (três modos)

/Modo: — Quando é acionado — Saída esperada

/planejar: — Sempre que o bloco contiver forte densidade teórica ou o usuário solicitar planejamento explícito. — Relatório de Planejamento (markdown) com:

- Resumo crítico do bloco
- Lista de melhorias propostas
- Perguntas ao usuário sobre passagens nebulosas
- Alertas de redundância (caso existam)

/executar: — Após o “ok” do usuário ou quando o bloco for predominantemente expositivo/descritivo e não exigir planejamento. — Texto revisado pronto, incorporando todas as melhorias de forma rastreável (p.ex. marcação `<del>...</del> <ins>...</ins>` ou outra convenção se o usuário preferir).

/otimizar: — Sempre que a redundância for significativa ($\geq 15\%$ do bloco ou a critério do modelo). — Sinalização clara dos trechos elimináveis + justificativa sucinta.

3. Regras operacionais

- 3.1. Formato dos relatórios
- 3.1.1. Use títulos e subtítulos em Markdown.
- 3.1.2. Numere perguntas e sugestões para facilitar a resposta do usuário.
- 3.1.3. Interação mínima: Caso não haja dúvidas relevantes, pule direto para **/executar** e informe: “Modo **/planejar**: não necessário — bloco segue para execução.”

4. Referências internas do projeto

- 4.1. Use o sumário para manter coerência de terminologia e progressão de argumentos.
- 4.2. Consulte o checklist e lembre o usuário de pendências sempre que pertinente.

5. Escalonamento progressivo

- 5.1. Concentre o esforço de **/planejar:** e **/otimizar:** nos capítulos teóricos centrais ou em estágios de refinamento avançado, conforme o trabalho evolua. Avise o usuário quando essa mudança de ênfase ocorrer.

6. Comunicação de dúvidas

- 6.1. Faça perguntas específicas e objetivas; evite perguntas genéricas que aumentem a carga cognitiva do usuário.

7. Fluxo de trabalho

- 7.1. Usuário envia bloco ($\leq 2\,000$ palavras).
7.2. GPT avalia densidade teórica.
7.2.1. Se alta $\rightarrow$ /planejar: entrega Relatório de Planejamento.
7.2.2. Se baixa $\rightarrow$ /executar: entrega revisão já aplicada.
7.3. Usuário responde (aceita, ajusta ou rejeita sugestões).
7.4. GPT aplica /executar conforme sinal verde.
7.5. Se detectar redundâncias significativas ao longo do processo $\rightarrow$ ativa /otimizar e consulta o usuário.

8. Convenções de marcação de revisões

- 8.1. Inserções: `<ins>texto</ins>`
8.2. Supressões: `<del>texto</del>`

Quadro 25: Instrução-Mestre para o GPT: revisão inteligente.

Fonte: Elaboração própria.

Para diminuir a necessidade de prompts longos e dispersos e viabilizar tarefas personalizadas. Esses comandos foram prefixados por “/” (ex.: /arguição_coproducionista:) e possuíam uma missão (“aplicar a matriz coproducionista); formato de input (texto) e output (tabela), além de 5 passos padronizados (receber $\rightarrow$ planejar $\rightarrow$ perguntar $\rightarrow$ planejar $\rightarrow$ executar – as vezes com mais ciclos de perguntas).

Mais ao final do trabalho, o autor criou um modal personalizado ancorado nos conceitos de Jasanoff (2004), para uma espécie de simulação de arguição da conclusão, através de perguntas que levassem ao refinamento do texto através da defesa ou revisão do argumento. Com as respostas do autor, que elucidavam pontos obscuros da versão anterior do texto e o modelo fez emendas textuais com marcações rastreáveis (`<del>/<ins>`), preservando a autoria humana.

/arguição_coproducionista:

OBJETIVO

Aplicar a matriz coproducionista (4 sítios $\times$ 5 dimensões) para revelar imaginários sociotécnicos no trecho fornecido, apontando tensões e legitimações.

INPUT

Bloco de texto do capítulo em português.

OUTPUT

1. Mapa (tabela ou bullet) sítios $\times$ dimensões, com trechos-chave.
2. Análise crítica em parágrafo corrido (máx. 250 palavras).
3. Lista de lacunas + sugestões de reforço conceitual.

CRITÉRIOS

- Sustentar cada ponto com citação de linha.
- Evitar “copiar–colar” além de 20 % do texto original.
- Tom analítico, não celebratório.

LOOP DE REVISÃO

Após entregar, aguardar instruções antes de prosseguir: “aprovar”, “expandir”, “reduzir” ou “instruções específicas”.

Quadro 26: Exemplo de "/modo:" personalizado no GPT.
Fonte: Elaboração própria

Sítios de coprodução (Jasanoff, 2004, adapt.)	Dimensão epistêmica (conhecimento & autoridade)	Dimensão normativa (valores, ética, direito)	Dimensão socioinstitucional (atores & governança)	Dimensão material-tecnológica (artefatos & infraestrutura)	Dimensão temporal-imaginária (trajetórias & futuros)
1. <i>Making Identities</i> (construção de sujeitos e coletivos)					
2. <i>Making Institutions</i> (regras e rotinas)					
3. <i>Making Discourses</i> (narrativas e enquadramentos)					
4. <i>Making Representations</i> (visualidades, métricas, símbolos)					

Tabela 23: Matriz coprodutionista.
Fonte: Elaboração própria. Baseado em Jasanoff (2004).

Abaixo as perguntas direcionadas. Boa parte delas não foram respondidas por demandarem pesquisas adicionais, contudo renovam o interesse no campo e objeto.

1. Até onde a periferia brasileira depende do selo de credibilidade de atores centrais (FDA, DARPA, Nature etc.) para que seus resultados em ICCs sejam reconhecidos?
2. Quais mecanismos—institucionais ou simbólicos—o Brasil poderia acionar para inverter (ou, no mínimo, tensionar) essa dependência de validação externa?
3. Observa-se que valores como autonomia competitiva e controle viajam do Norte global para laboratórios brasileiros. Existem valores sociais ou cognitivos que se originam na periferia e se difundem rumo ao centro? Exemplifique.
4. Caso negativo, o que isso revela sobre o fluxo assimétrico de culturas tecnocientíficas?
5. A tese sustenta que ciclos de P&D de 1-2 anos reforçam a subordinação periférica. Como articular essa crítica a políticas públicas locais sem recair num “nacionalismo metodológico” (alerta do checklist)?
6. Que métricas concretas poderiam demonstrar—na Conclusão—o custo dessa miopia temporal para a autonomia científica do país?
7. Em que medida a mídia brasileira reproduz—ou ressignifica—o imaginário disruptivo cunhado no Vale do Silício?
8. Há evidências de narrativas “contraditórias” que emergem da periferia (p. ex., inovação frugal, defesa de neurodireitos) e desafiam a visão hegemônica? Quais exemplos inserir na síntese final?

9. *Os(as) especialistas locais expressam ambivalência sobre controle de dados vs privacidade. Como transformar essa ambivalência em argumento teórico robusto sobre a singularidade periférica?*
10. *Vale destacar contradições internas (ex.: startups que advogam por open-source enquanto buscam patentes)?*
11. *O campo das ICCs revela crescimento ou estagnação? Que indicador narrativo (financiamento acumulado, número de pacientes beneficiados) mais evidenciaria o (des)colamento em relação ao centro?*
12. *O Chile aprovou lei pioneira; a UE debate regulações; o Brasil oscila. Pode a periferia liderar normativamente e, assim, redefinir a hierarquia centro-periferia?*
13. *Quais argumentos empíricos dos entrevistados sustentam (ou refutam) essa hipótese?*
14. *Deseja que a Conclusão traga recomendações concretas de política científica e industrial? Se sim, quais níveis (federal, estadual, institucional) priorizar, considerando a análise de dependência?*
15. *Como fazer essas propostas dialogarem com a dialética Autonomia × Controle sem diluir o rigor crítico?*
16. *A nota metodológica já assinala a posição social do pesquisador. Que efeitos essa reflexividade deve exercer sobre a interpretação da relação centro-periferia?*
17. *Há risco de reificar a condição periférica? Como evitá-lo no encerramento da tese?*
18. *Se tivesse de condensar em duas frases a principal contribuição da tese para o debate centro-periferia em tecnociência, quais seriam? Essa síntese ajudará a calibrar o tom final.*

Quadro 27: Perguntas feitas pelo GPT ao usuário (Conclusão).

Fonte: Elaboração própria.

Referências bibliográficas

- AAS, Sean; WASSERMAN, David. Brain–computer interfaces and disability: extending embodiment, reducing stigma?. **Journal of Medical Ethics**, v. 42, n. 1, p. 37-40, 2016.
- ABC – ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. **Projeto de Ciência para o Brasil**. Coordenação de Jerson Lima Silva, José Galizia Tundisi. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2018.
- ABC – ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. **Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia: a importância do financiamento competitivo em seus níveis de estruturação**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, dez. 2021.
- ALAM, Monzurul et al. Brain-machine interface facilitated neurorehabilitation via spinal stimulation after spinal cord injury: Recent progress and future perspectives. **Brain Research**, v. 1646, p. 25-33, 2016.
- ANDRADE, Thales Novaes de. Inovação e ciências sociais: em busca de novos referenciais. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 20, n. 59, p. 145–156, 2005
- ARBIX, Glauco; CONSONI, Flávia. Inovar para transformar a universidade brasileira. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 26, p. 205-224, 2011.
- ARBIX, Glauco; MIRANDA, Zil. Políticas de inovação em nova chave. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 90, p. 49–73, 2017.
- ARENDT, Hannah. **A condição humana**; tradução de Roberto Raposo, posfácio de Celso Lafer. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2005.
- ARREGUY, Marília Etienne. A leitura das emoções e o comportamento violento mapeado no cérebro. **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, v. 20, p. 1267-1292, 2010.
- AUTORIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO DE DADOS. **Radar Tecnológico nº 4: Neurotecnologias**. Brasília, DF: ANPD, 2025.
- AZIZE, Rogerio Lopes. O cérebro como órgão pessoal: uma antropologia de discursos neurocientíficos. **Trabalho, Educação e Saúde**, v. 8, p. 563-574, 2010.
- BACON, Francis. **Novum Organum**; edição de Joseph Devey. The Project Gutenberg, 2014.
- BALBACHEVSKY, Elizabeth. Governança na pesquisa científica: reflexões sobre a prática da pesquisa contemporânea e a experiência brasileira. **Sociologias**, v. 19, n. 46, p. 76-101, 2017.
- BARBROOK, Richard; CAMERON, Andy. The Californian Ideology. **Mute Magazine**, Londres, v. 1, n. 3, 1995.
- BARCELOS, Régis Leonardo Gusmão; MOCELIN, Daniel Gustavo. Ciência e mercado: impasses na institucionalização de práticas empreendedoras em uma universidade pública brasileira. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 31, n. 92, e319206, 2016.
- BARROS, Denise; ORTEGA, Francisco. Metilfenidato e aprimoramento cognitivo farmacológico: representações sociais de universitários. **Saúde e Sociedade**, v. 20, p. 350-362, 2011.
- BECK, Ulrich. **Sociedade de risco**: rumo a uma outra modernidade. Tradução de Sebastião Nascimento. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011

- BENEVIDES, Alessandro B.; SARCINELLI-FILHO, Mário; BASTOS FILHO, Teodiano F. Design of a general brain-computer interface. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática**, v. 22, n. 6, p. 638-646, 2011.
- BENJAMIN, Walter. **Illuminations**: essays and reflections. Edição de Hannah Arendt. Tradução de Harry Zohn. Boston: Mariner Books, 2019. E-book.
- BIRCH, Kean. Neoliberalising bioethics: Bias, enhancement, and economic ethics. **Genomics, Society and Policy**, v. 4, n. 2, p. 1, 2008.
- BORCK, Cornelius. **Brainwaves**: a cultural history of electroencephalography. Tradução de Ann M. Hentschel. Londres: Routledge, 2018.
- BOSTROM, Nick; SANDBERG, Anders. Cognitive enhancement: methods, ethics, regulatory challenges. **Science and engineering ethics** 15, no. 3, p. 311-341, 2009.
- BOURDIEU, Pierre. **O conhecimento científico**. Tradução de Guilherme João de Freitas Teixeira. São Paulo: Editora 34, 2007.
- BOWER, Joseph L.; CHRISTENSEN, Clayton M. Disruptive technologies: catching the wave. **Harvard Business Review**, v. 73, n. 1, p. 43-53, jan./fev. 1995.
- BRENNINKMEIJER, Jonna. Brainwaves and psyches: A genealogy of an extended self. **History of the Human Sciences**, v. 28, n. 3, p. 115-133, 2015.
- BRENNINKMEIJER, Jonna. Neurofeedback as a dance of agency. **BioSocieties**, v. 8, n. 2, p. 144-163, 2013.
- BRENNINKMEIJER, Jonna. **Neurotechnologies of the self: mind, brain, and subjectivity**. Springer, 2016.
- BROCKMAN, JOHN. **What to Think About Machines That Think: Today's Leading Thinkers on the Age of Machine Intelligence**, Edge Question Series, 2015
- BUOSI, Lucas. **Alcances e limites na gerência da DARPA-EUA (1958-2018): o caso do Escritório de Tecnologias Biológicas**. Dissertação (Mestrado em Sociologia) – Universidade Federal do Paraná – Curitiba, 2020.
- BUSH, Vannevar. **Science, the endless frontier: a report to the President on a program for post war scientific research**. Washington, DC: United States Government Printing Office, 1945.
- CARDOSO, Fernando Henrique. "Dependency and development in Latin America." In **Introduction to the Sociology of "Developing Societies,"** pp. 112-127. London: Macmillan Education UK, 1982.
- CARVALHO, Edgard de Assis. Tecnociência e complexidade da vida. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, p. 26-31, 2000.
- CEPAL – COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE. **Horizontes 2030: a igualdade no centro do desenvolvimento sustentável**. Santiago: CEPAL, 2016.
- CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Apêndice teórico da Estratégia Nacional de Inovação**. Brasília, DF: CGEE, 2021a.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Diagnóstico da E-Digital: Atualização da Estratégia Brasileira para a Transformação Digital**. Brasília, DF: CGEE, 2021c.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Indústria 4.0 – Recursos Humanos e Educação para o Mundo 4.0. **Série Documentos Técnicos**, n. 28. Brasília, DF: CGEE, 2021b.

CHAGAS, Priscilla Borgonhoni; CARVALHO, Cristina Amélia; MARQUESAN, Fábio Freitas Schilling. Desenvolvimento e dependência no Brasil nas contradições do Programa de Aceleração do Crescimento. **Organizações & Sociedade**, v. 22, p. 269-290, 2015.

CHANGEUX, Jean-Pierre. **Neuronal man: the biology of mind**. Tradução de Laurence Garey. New York: Pantheon Books, 1985.

CHANGEUX, Jean-Pierre; RICOEUR, Paul. **What makes us think?: a neuroscientist and a philosopher argue about ethics, human nature, and the brain**. Tradução de M. B. DeBevoise. Princeton: Princeton University Press, 2000.

CHEIDA, Rodrigo Saraiva. **Os imaginários sociotécnicos das origens da comunidade neurocientífica brasileira e da governança de suas agendas de pesquisa**. 2017. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

CHRISTENSEN, Clayton M.; RAYNOR, Michael E.; MCDONALD, Rory. What is disruptive innovation? **Harvard Business Review**, v. 93, n. 12, p. 44–53, 2015.

CIMOLI, Mario; PORCILE, Gabriel. Technology, structural change, and BOP-constrained growth: a structuralist toolbox. Cambridge **Journal of Economics**, v. 38, n. 1, p. 215–237, 2014.

CLARK, Andy. Re-inventing ourselves: The plasticity of embodiment, sensing, and mind. **The Journal of Medicine and Philosophy** 32, no. 3, p. 263-282, 2007.

CLARK, Andy. **The experience machine: how our minds predict and shape reality**. New York: Pantheon Books, 2023

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Preparando o Brasil para um futuro mais competitivo: um roteiro de prontidão para o futuro em inovação, tecnologia e talentos: relatório técnico**. Brasília: CNI, 2021a.

COBB, Matthew. **The idea of the brain: The past and future of neuroscience**. Hachette UK, 2020.

COIN, Allen; MULDER, Megan; DUBLJEVIĆ, Veljko. Ethical Aspects of BCI Technology: What Is the State of the Art?. **Philosophies**, v. 5, n. 4, p.31, 2020.

COULDRY, Nick; MEJIAS, Ulises A. Data colonialism: Rethinking big data's relation to the contemporary subject. **Television & New Media**, v. 20, n. 4, p. 336-349, 2

CRAWFORD, Kate. **Atlas of AI: power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence**. New Haven: Yale University Press, 2021.

DAGNINO, Renato. A anomalia da política de ciência e tecnologia. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 29, p. 45-55, 2014.

DAGNINO, Renato. A comunidade de pesquisa e a política de ciência e tecnologia: olhando para os países avançados. **Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad**, v. 3, n. 7, p. 43-58, 2006.

DAGNINO, Renato. **Ciência e tecnologia no Brasil: o processo decisório e a comunidade de pesquisa**. Campinas: Editora da Unicamp, 2007

DE NEGRI, Fernanda; SQUEFF, Flávia S. Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil. In: RAUEN, André T. (Org.). **Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil**. Brasília: Ipea, 2016. p. 215–244

DEEJAY, Aleks; HENNE, Kathryn. Creating a new normal? Technosocial relations, mundane governance, and pandemic-related disruption in everyday life. **Sociology**, v. 58, n. 3, p. 699–716, 2024.

DEISSEROTH, Karl. Optogenetics. **Nature Methods**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 9-11, 2013.

DESCARTES, René. **Discourse on the Method: Of Rightly Conducting One's Reason and of Seeking Truth in the Sciences**. The Floating Press, 2009.

DEWEY, John. **A valoração nas ciências humanas**. Organização de Marcus Vinicius da Cunha, Ana Raquel Lucato Cianflone e Erika Natacha Fernandes de Andrade. Campinas: Autores Associados, 2009.

DEWEY, John. **Experience and nature**. Courier Corporation, 2012.

DONATI, Ana RC et al. Long-term training with a brain-machine interface-based gait protocol induces partial neurological recovery in paraplegic patients. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-16, 2016.

DOS SANTOS, Theotonio. A estrutura da dependência. **Revista da Sociedade Brasileira de Economia Política**, v. 1, n. 30, 2011.

DUFF, Alistair S. Rating the revolution: Silicon Valley in normative perspective. **Information, Communication & Society**, v. 19, n. 9, p. 1244–1259, 2016.

DUMIT, Joseph. **Picturing personhood: brain scans and biomedical identity**. Princeton: Princeton University Press, 2004.

EDELMAN, Bradley J. et al. Deep learning-enhanced noninvasive brain-computer interfaces for mass market applications. **Nature Communications**, [S. l.], v. 16, art. 402, 2025.

EHRENREICH, Bárbara. **"O medo da queda: ascensão e crise da classe média."** *São Paulo: Scritta* (1994).

ELLIOTT, Carl. Enhancement technologies and identity ethics. **Society**, v. 41, n. 5, p. 25, 2004.

FAVALLI, Roberto. **Expectations, visions, and sociotechnical imaginaries of Brain-Computer Interfaces: a study on the field of neurotechnology**. 2024. 235 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) – Departamento de Filosofia e Comunicação, Università degli Studi di Milano-Bicocca / Università degli Studi di Pavia, Milão/Pavia, 2024.

FERREIRA, Mariana Toledo. Periferia pensada em termos de falta: uma análise do campo da genética humana e médica. **Sociologias**, v. 21, n. 50, p. 80-115, 2019.

FETZ, Marcelo; DEFACCI, Fabrício Antônio; NASCIMENTO, Lerisson. Olhares sociológicos sobre a ciência no século vinte: mudanças e continuidades. **Sociologias**, v. 13, p. 284-317, 2011.

FOUCAULT, Michel. **Em Defesa da Sociedade: Curso no Collège de France (1976)**; tradução Maria Ermantina Galvão. - 2ª ed. - São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2010.

FREDRIKSEN, Aurora; BRACKING, Sarah; GRECO, Elisa; IGOE, James J.; MORGAN, Rachael; SULLIVAN, Sian. A conceptual map for the study of value: An initial mapping of concepts for the project 'Human, non-human, and environmental value systems: an impossible frontier?'. Manchester: **Leverhulme Centre for the Study of Value Working Paper Series, n.2**, The University of Manchester, 2014.

FREITAS-SILVA, Luna Rodrigues; ORTEGA, Francisco. A determinação biológica dos transtornos mentais: uma discussão a partir de teses neurocientíficas recentes. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 32, 2016.

GADELHA, Carlos Augusto Grabois; GIMENEZ, Denis Maracci; CAJUEIRO, Juliana Pinto de Moura; MOREIRA, Juliana Duffles Donato. O Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS) como espaço estratégico para a modernização do SUS e para a geração dos empregos do futuro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, n. 10, p. 2833-2843, 2023.

GADELHA, Carlos Augusto Grabois; GUIMARÃES, Reinaldo; NORONHA, José; ELIAS, Flávia Tavares Silva; CARVALHEIRO, José da Rocha; RIBEIRO, Alane. Política de Ciência, Tecnologia e Inovação em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, n. 3, p. 881–886, 2019.

GARCIA, Renato; ROSELINO, José Eduardo. Uma avaliação da Lei de Informática e de seus resultados como instrumento indutor de desenvolvimento tecnológico e industrial. **Gestão & Produção**, v. 11, p. 177-185, 2004.

GEIGER, Susi. Silicon Valley, disruption, and the end of uncertainty. **Journal of Cultural Economy**, v. 13, n. 2, p. 169–184, 2019.

GIESTEIRA, Luís Felipe; CALIARI, Thiago; ORSOLIN-TEIXEIRA, Felipe. Política industrial no Brasil: evidências empíricas em um contexto de mudanças estruturais (2007-2020). **Brazilian Journal of political Economy**, v. 44, n. 3, e243537, 2024.

GRABHER, Gernot; KÖNIG, Jonas. Disruption, embedded: A Polanyian framing of the platform economy. **Sociologica**, v. 14, n. 1, p. 95–118, 2020.

GRAEFE, Anne-Sophie. The Superman in the MRI scanner: the neoliberal subject of the human enhancement debate. **Philosophy & Technology**, [S. l.], v. 32, n. 3, p. 497-516, set. 2019.

GRAND VIEW RESEARCH. **Brain Computer Interface Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Invasive, Partially Invasive, Non-invasive), By Application (Healthcare, Communication & Control), By End-use, And Segment Forecasts, 2020 – 2027**. Market Analysis Report, 2020.

GRELLA, Stephanie L.; FORTIN, Amanda H.; RUESCH, Evan; RAMIREZ, Steve. Reactivating hippocampal-mediated memories during reconsolidation to disrupt fear. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, 2022.

GROPPE, Sarah E. et al. Oxytocin influences processing of socially relevant cues in the ventral tegmental area of the human brain. **Biological psychiatry**, v. 74, n. 3, p. 172-179, 2013.

GUIMARÃES, Reinaldo; NORONHA, José; ELIAS, Flávia Tavares Silva; GADELHA, Carlos Augusto Grabois; CARVALHEIRO, José da Rocha; RIBEIRO, Alane. Política de ciência, tecnologia e inovação em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, p. 881-886, 2019.

GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, Josefina; NÚÑEZ-GAONA, Marco Antonio; CARRILLO-MORA, Paul. **Avances tecnológicos en neurorehabilitación. Revista de investigación clínica**, v. 66, n. S1, p. 8-23, 2014.

HABERMAS, Jürgen. **O futuro da natureza humana: a caminho de uma eugenia liberal?** Tradução de Karina Jannini. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

HAN, Byung-Chul. **Sociedade do cansaço**. Editora Vozes Limitada, 2015.

HANSEN, Christian B. J.; HASSENPFUG, Malene P.; NYBORG, Sophie; JELSØE, Erling. Improving brain computer interface research through user involvement: The transformative potential of integrating civil society organisations in research projects. **PLOS ONE**, v. 12, n. 2, e0171818, 2017.

HARAWAY, Donna. **Simians, cyborgs, and women: The reinvention of nature**. Routledge, 2013.

HE, Bin. Noninvasive Brain-Computer Interfaces: from mind reading to motor control. **Annual Review of Biomedical Engineering**, [S. l.], v. 27, p. 115-138, 2025.

HEERSMINK, Richard. Embodied tools, cognitive tools, and brain-computer interfaces. **Neuroethics** 6: 207–219, 2013.

HERCULANO-HOUZEL, Suzana. **The human advantage: a new understanding of how our brain became remarkable**. MIT Press, 2016.

HOGARTH, Stuart. Valley of the unicorns: consumer genomics, venture capital, and digital disruption. **New Genetics and Society**, v. 36, n. 3, p. 250–272, 2017

IEL – INSTITUTO EUVALDO LODI. **Disruptive Technologies and Industry: Current Situation and Prospective Evaluation. Volume 1**. Luciano Coutinho, João Carlos Ferraz, David Kupfer, Mariano Laplane, Caetano Penna, Fernanda Ultremare, Giovanna Gielfi, Luiz Antonio Elias, Carolina Dias, Jorge Nogueira de Paiva Britto, Julia Ferreira Torracca. Brasília: IEL/NC, 2018.

JARVIE, Ian; AGASSI, Joseph. Por uma sociologia crítica da ciência. **Sociologias**, v. 13, p. 43-83, 2011.

JASANOFF, Sheila (Ed.). **States of knowledge: the co-production of science and the social order**. Routledge, 2004.

JASANOFF, Sheila. **Can science make sense of life?**. John Wiley & Sons, 2019.

JASANOFF, Sheila. Technologies of Humility: Citizen Participation in Governing Science. **Minerva**, [S. l.], v. 41, n. 3, p. 223-244, 2003.

JASANOFF, Sheila. **The ethics of invention: Technology and the human future**. WW Norton & Company, 2016.

JASANOFF, Sheila; KIM, Sang-Hyun. **"Dreamscapes of modernity." Sociotechnical imaginaries and the fabrication of power**. Chicago, 2015.

KLEBA, John Bernhard. Tecnologia, ideologia e periferia: um debate com a filosofia da técnica de Álvaro Vieira Pinto. **Convergência**, v. 13, n. 42, p. 73-93, 2006.

KLEIN, Eran et. al. Engineering the brain: ethical issues and the introduction of neural devices. **Hastings Center Report**, v. 45, n. 6, p. 26-35, 2015.

KLÜGER, Elisa. Construindo uma burocracia econômica de excelência: concursos de seleção para o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), de 1955 a 2012. Plural – **Revista de Ciências Sociais**, v. 22, n. 2, p. 81–114, 2015.

KÖGEL, Johannes; JOX, Ralf J.; FRIEDRICH, Orsolya. What is it like to use a BCI?—insights from an interview study with brain-computer interface users. **BMC medical ethics**, v. 21, n. 1, p. 1-14, 2020a.

KÖGEL, Johannes; WOLBRING, Gregor. What It Takes to Be a Pioneer: Ability Expectations From Brain-Computer Interface Users. **NanoEthics**, v. 14, n. 3, p. 227-239, 2020b.

KOURANY, Janet A. Human enhancement: Making the debate more productive. **Erkenntnis**, v. 79, n. 5, p. 981–998, 2014.

KPMG International. **The disruptors are the disrupted: Disruptive technologies barometer – Technology sector**. 2016.

KREIMER, Pablo. Prometo, luego existo: ciencia, conocimiento y promesas en la modernidad periférica. **Nómadas**, n. 55, p. 13-27, 2021.

LACEY, Hugh. Reflections on science and technoscience. **Scientiae studia** 10 (2012): 103-128.

LACEY, Hugh. **Valores e atividade científica 1**. Tradução de Marcos Barbosa de Oliveira, Eduardo Salles de Oliveira Barra e Carlos Eduardo Ortolan Miranda; introdução e prefácio de Pablo Rubén Mariconda. 2. ed. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia/Editora 34, 2008. 296 p

LACEY, Hugh. **Valores e atividade científica 2**. Tradução de Marcos Barbosa de Oliveira, Gustavo Sigrist Betini, Marcos Rodrigues da Silva e Renato Rodrigues da Silva. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia/Editora 34, 2010. 366 p.

LACEY, Hugh; MARICONDA, Pablo Rubén. O modelo da interação entre as atividades científicas e os valores na interpretação das práticas científicas contemporâneas. **Estudos Avançados**, v. 28, p. 181-199, 2014.

LAMONT, Michèle. Toward a Comparative Sociology of Valuation and Evaluation. **Annual Review of Sociology**, v. 38, p. 201–221, 2012.

LATOUR, Bruno. **A esperança de Pandora**. SciELO-Editora UNESP, 2017.

LAWRENCE, Caroline; SHAPIRO, Zachary E.; FINS, Joseph J. Brain-computer interfaces and the right to be heard: calibrating legal and clinical norms in Pursuit of the Patient's Voice. **Harv J Law Technol**, v. 33, p. 167, 2019.

LEITE, Marcelo Nogueira. **Biologia total: hegemonia e informação no genoma humano**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, 2005.

LEPORE, Jill. The disruption machine: what the gospel of innovation gets wrong. **The New Yorker**, 23 jun. 2014.

LESTER, Michael. The Creation and Disruption of Innovation? Key Developments in Innovation as Concept, Theory, Research and Practice. In: ANDERSON, Dennis; NAYAK, Richi; TYNAN, Bernadette (Eds.). **Innovation in the Asia Pacific**. Singapore: Springer, 2017. p. 271–328.

- LEVINA, Marina. Disrupt or die: Mobile health and disruptive innovation as body politics. **Television & New Media**, v. 18, n. 6, p. 548–564, 2017
- LEVITT, Mairi; O’NEILL, Fiona K. Making humans better and making better humans. **Genomics, Society and Policy**, v. 6, n. 1, p. 1, 2010.
- LINDEMANN, Gesa. From experimental interaction to the brain as the epistemic object of neurobiology. **Human Studies**, v. 32, n. 2, p. 153-181, 2009.
- MAASEN, Sabine; SUTTER, Barbara eds. **On willing selves: Neoliberal politics and the challenge of neuroscience**. Springer, 2007.
- MAHAN, Margaret Y.; GEORGOPOULOS, Apostolos P. Motor directional tuning across brain areas: directional resonance and the role of inhibition for directional accuracy. **Frontiers in Neural Circuits**, [S. l.], v. 7, art. 92, p. 1-14, 2013.
- MARTIN, Emily. Self-making and the brain. **Subjectivity**, v. 3, n. 4, p. 366-381, 2010.
- MATIAS-PEREIRA, José; KRUGLIANSKAS, Isak. Gestão de inovação: a lei de inovação tecnológica como ferramenta de apoio às políticas industrial e tecnológica do Brasil. **RAE Eletrônica**, v. 4, 2006.
- MAULDIN, Laura. Precarious plasticity: Neuropolitics, cochlear implants, and the redefinition of deafness. **Science, Technology, & Human Values**, v. 39, n. 1, p. 130-153, 2014.
- MCCABE, David P.; CASTEL, Alan D. Seeing is believing: The effect of brain images on judgments of scientific reasoning. **Cognition**, v. 107, n. 1, p. 343-352, 2008.
- MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Tech for Good: Smoothing Disruption, Improving Well-being**. Maio 2019.
- MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial – EBIA**. Brasília: MCTI, 2021.
- MEI – MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO. **Agenda da MEI 2018**. Brasília: CNI, 2018.
- MEI – MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO. **Agenda da MEI 2021-2022**. Brasília: CNI, 2021.
- MELONI, Maurizio. **Impressionable Biologies: From the Archaeology of Plasticity to the Sociology of Epigenetics**. Londres: Routledge, 2019.
- MIGNOLO, Walter D. "Colonialidade: o lado mais escuro da modernidade." **Revista brasileira de ciências sociais**, v. 32, 2017.
- MITCHELL, Peter et al. Assessment of safety of a fully implanted endovascular brain-computer interface for severe paralysis: 12-month results from the Stentrode with Thought-to-Text (SWITCH) study. **JAMA Neurology**, [S. l.], v. 80, n. 3, p. 270-278, 2023.
- MOL, Annemarie. **The body multiple: Ontology in medical practice**. Duke University Press, 2002.
- MONASTERIO ASTOBIZA, et. al. Attitudes about Brain–Computer Interface (BCI) technology among Spanish rehabilitation professionals. **AI & SOCIETY**, p.1-10, 2021.

- MORCOM, Alexa M.; FLETCHER, Paul C. Does the brain have a baseline? Why we should be resisting a rest. **NeuroImage**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 1073-1082, 2007.
- NEVES, Fabrício Monteiro. A contextualização da verdade ou como a ciência torna-se periférica. **Civitas: Revista de Ciências Sociais**, v. 14, n. 3, p. 556–574, 2014.
- NEVES, Fabrício Monteiro. A diferenciação centro-periferia como estratégia teórica básica para observar a produção científica. **Revista de Sociologia e Política**, v. 17, p. 241-252, 2009.
- NEVES, Fabrício Monteiro. A periferização da ciência e os elementos do regime de administração da irrelevância. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 35, n. 104, 2020.
- NICOLAS-ALONSO, Luis Fernando; GOMEZ-GIL, Jaime. Brain Computer Interfaces: A Review. **Sensors**, v. 12, n. 2, p. 1211–1279, 2012.
- NICOLELIS, Miguel. **Made in Macaíba**. São Paulo: Editora Planeta do Brasil, 2016.
- NICOLELIS, Miguel. The Future of Human Augmentation. **Nokia Bell Labs**, Youtube: 21 mai. 2019.
- NICOLELIS, Miguel; CICUREL, Ronald. **O cérebro relativístico**: como ele funciona e por que ele não pode ser simulado por uma máquina de Turing. [S. l.]: Kios Press, 2015.
- NOVAS, Carlos; ROSE, Nikolas. Genetic risk and the birth of the somatic individual. **Economy and society**, v. 29, n. 4, p. 485-513, 2000.
- NUNES, João Arriscado. As dinâmicas da(s) ciência(s) no perímetro do centro: Uma cultura científica de fronteira? **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 63, p. 189-198, 2002.
- OLIVEIRA, Joelmo Jesus de. Ciência, tecnologia e inovação no Brasil: poder, política e burocracia na arena decisória. **Revista de Sociologia e Política**, v. 24, n. 59, p. 129–147, 2016.
- OLSHANSKY, S. Jay. Human by design. **The Quarterly Review of Biology**, v. 79, n. 2, p. 181–187, 2004.
- OP DE BEECK, Hans; NAKATANI, Chie. **Introduction to human neuroimaging**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.
- ORTEGA, Francisco. Neurociências, neurocultura e autoajuda cerebral. **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, v. 13, n. 31, p. 247-260, 2009.
- ORTEGA, Francisco; VIDAL, Fernando. Culture: by the brain and in the brain?. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 23, p. 965-983, 2016.
- ORTEGA, Francisco; ZORZANELLI, Rafaela. Corpo em evidência: a ciência e a redefinição do humano. Rio de Janeiro: **Civilização Brasileira**, v. 4, 2010.
- OXLEY, Thomas J. et al. Minimally invasive endovascular stent-electrode array for high-resolution neuromapping and human machine interfaces. **Nature Biotechnology**, [S. l.], v. 34, n. 3, p. 320-327, 2016.
- O'DOHERTY, Joseph E. et al. Creating a neuroprosthesis for active tactile exploration of textures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 43, p. 21821-21827, 2019.
- PAULANI, Leda Maria. A Dependência revisitada: relações de mercado, a fase 4.0 e o caso do Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Economia Política**, p. 68-106, 2022.

PEDERSEN, Inge Kryger. "Striving for self-improvement: alternative medicine considered as technologies of enhancement." *Social Theory & Health* 16, no. 3 (2018): 209-223.

PELAEZ, Victor; SILVA, Hugo; ARAÚJO, Bruno. A volatilidade da agenda de políticas de ciência e tecnologia no Brasil. **Revista de Administração Pública**, v. 51, n. 5, p. 788–809, 2017.

PEREIRA, Adriano José; DATHEIN, Ricardo. "Aliança capitalista e enraizamento da dependência tecnológica na economia brasileira: uma visão institucionalista evolucionária." **Economia e Sociedade**, 26, no. 2 (2017): 303-335.

PESSOA, Luiz. **The entangled brain**: how perception, cognition, and emotion are woven together. Cambridge, MA: MIT Press, 2022.

PETERSEN, Margit Anne; NØRGAARD, Lotte Stig; TRAULSEN, Janine M. Pursuing pleasures of productivity: University students' use of prescription stimulants for enhancement and the moral uncertainty of making work fun. **Culture, Medicine and Psychiatry**, v. 39, n. 4, p. 665–679, 2015.

PICKERSGILL, Martyn. The social life of the brain: Neuroscience in society. **Current Sociology** 61, no. 3, 2013, p.322-340.

PICKERSGILL, Martyn; MARTIN, Paul; CUNNINGHAM-BURLEY, Sarah. The changing brain: neuroscience and the enduring import of everyday experience. **Public Understanding of Science**, v. 24, n. 7, p. 878-892, 2015.

PITTS-TAYLOR, Victoria. **The Brain's Body: In The Brain's Body**. Duke University Press, 2016.

POLANYI, Karl. **A grande transformação: as origens políticas e económicas do nosso tempo**. Tradução de Miguel Serras Pereira. 2. ed. Lisboa: Edições 70, 2021.

RAGIN, Charles C. **Redesigning social inquiry: Fuzzy sets and beyond**. University of Chicago Press, 2008.

RAND, Ayn. **Atlas shrugged**. Penguin, 2005.

ROBINSON, Mark Dennis. **The Market in Mind: How Financialization is Shaping Neuroscience, Translational Medicine, and Innovation in Biotechnology**. Cambridge, MA: MIT Press, 2019.

ROSE, Hilary; ROSE, Steven. **Can neuroscience change our minds?**. John Wiley & Sons, 2016.

ROSE, Nikolas. Molecular biopolitics, somatic ethics and the spirit of biocapital. **Social Theory & Health**, v. 5, n. 1, p. 3-29, 2007.

ROSE, Nikolas; ABI-RACHED, Joelle M. **Neuro: The new brain sciences and the management of the mind**. Princeton University Press, 2013

ROYAL SOCIETY. **iHuman: blurring lines between mind and machine**. Royal Society, 2019.

RUSO, Jane A.; PONCIANO, Edna LT. O sujeito da neurociência: da naturalização do homem ao re-encantamento da natureza. **Physis: revista de saúde coletiva**, v. 12, p. 345-373, 2002.

ŞAHINOL, Melike. Collecting Data and the Status of the Research Subject in Brain-Machine Interface Research in Chronic Stroke Rehabilitation. **Somatechnics**, v. 9, n. 2-3, p. 244-263, 2019.

SAMPLE, Matthew et al. Brain-computer interfaces and personhood: interdisciplinary deliberations on neural technology. **Journal of neural engineering**, v. 16, n. 6, p. 063001, 2019.

SANDEL, Michael J. **Contra a perfeição: ética na era da engenharia genética**. Tradução de Ana Carolina Mesquita. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2013.

SANTOS, Boaventura de Sousa; ARAÚJO, Sara; BAUMGARTEN, Maíra. As Epistemologias do Sul num mundo fora do mapa. **Sociologias**, v. 18, p. 14-23, 2016.

SANTOS, Ulisses Pereira dos; RAPINI, Márcia Siqueira; MENDES, Philipe Scherrer. Impactos dos incentivos fiscais na inovação de grandes empresas: uma avaliação a partir da pesquisa Sondagem de Inovação da ABDI. **Nova Economia**, v. 30, p. 803-832, 2021

SCHIRRMUSTER, Robin Tibor et al. Deep learning with convolutional neural networks for EEG decoding and visualization. **Human Brain Mapping**, [S. l.], v. 38, n. 11, p. 5391-5420, 2017.

SCHUMPETER, Joseph A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Tradução de Luiz Antônio Oliveira de Araújo. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2017.

SELFSLAGH, Aurelie et al. Non-invasive, brain-controlled functional electrical stimulation for locomotion rehabilitation in individuals with paraplegia. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2019.

SEO, Dongjin et al. **Neural Dust**: an ultrasonic, low power solution for chronic brain-machine interfaces. Berkeley: University of California, 2013.

SEUNG, Sebastian. **O conectoma: como o cérebro é moldado**. Tradução de Claudio Carina. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.

SHOKUR, Solaiman et al. Assimilation of virtual legs and perception of floor texture by complete paraplegic patients receiving artificial tactile feedback. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-14, 2016.

SHOKUR, Solaiman et al. Training with brain-machine interfaces, visuo-tactile feedback and assisted locomotion improves sensorimotor, visceral, and psychological signs in chronic paraplegic patients. **PloS one**, v. 13, n. 11, p. e0206464, 2018.

SIMONAZZI, Annamaria. The embeddedness of core-periphery relations in time and space. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 24, n. 01, e2024110, 2020.

SPARROW, Robert. A not-so-new eugenics: Harris and Savulescu on human enhancement. **The Hastings Center Report**, v. 41, n. 1, p. 32-42, 2011.

STEVENS, Tina; NEWMAN, Stuart. **Biotech juggernaut: Hope, hype, and hidden agendas of entrepreneurial bioscience**. Routledge, 2019.

STIEGLER, Bernard. **The Age of Disruption: Technology and Madness in Computational Capitalism**. Tradução de Daniel Ross. Cambridge: Polity Press, 2019.

STURGEON, Timothy; GEREFFI, Gary; GUINN, Andrew; ZYLBERBERG, Ezequiel. Brazilian manufacturing in international perspective: a global value chain analysis of Brazil's

aerospace, medical devices, and electronics industries. Brasília: **Confederação Nacional da Indústria**, 2013

TANNINEN, Maiju. Tracking lives, forging markets: Digital behavioural insurance and the production of self-quantified subjects. **Journal of Cultural Economy**, v. 14, n. 6, p. 705–721, 2021.

TAYLOR, Charles. **As Fontes dos Self: a construção da identidade moderna**; tradução Adail Ubirajara Sobral, Dinah de Abreu Azevedo. - 4.ed. - São Paulo: Edições Loyola, 2013.

TAYLOR, Charles. **Modern Social Imaginaries**. Duke University Press - Public Planet Books Series, 2004.

TURKLE, Sherry. **The Second Self: Computers and the Human Spirit**. 20th Anniversary Edition. Cambridge, MA: The MIT Press, 2005.

TURRINI, Mauro. Online genomes: Problematizing the disruptiveness of direct-to-consumer genetic tests. **Sociology Compass**, v. 12, n. 9, e12633, 2018.

UNESCO. **Recomendação sobre a ética da neurotecnologia**. Paris: UNESCO, 2025.

VALENSTEIN, Elliot S. **The war of the soups and the sparks: the discovery of neurotransmitters**. New York: Columbia University Press, 2005.

VARGAS, José Israel. Alguns aspectos da política nacional de ciência e tecnologia. **Química Nova**, v. 20, p. 7-14, 1997.

VELHO, Lea. Conceitos de ciência e a política científica, tecnológica e de inovação. **Sociologias**, v. 13, p. 128-153, 2011.

VIANA, Ana Luiza; ELIAS, Fátima. Saúde, desenvolvimento e inovação tecnológica: nova política industrial e complexo econômico-industrial da saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 3, p. 569–581, 2007.

VIDAL, Fernando; ORTEGA, Francisco. **Being Brains: Making the Cerebral Subject**. New York: Fordham University Press, 2017.

VILLASCHI, Arlindo. Anos 90: uma década perdida para o sistema nacional de inovação brasileiro?. **São Paulo em perspectiva**, 19 (2005): 3-20.

WEBER, Max. **A ética protestante e o espírito do capitalismo**. Tradução de Mário Moraes. São Paulo: Martin Claret, 2022.

WILLIAMS, Ruth. The human connectome: just another 'ome? **The Lancet Neurology**, v. 9, n. 3, p. 238–239, 2010.

WOLFF, Francis. **Nossa humanidade: de Aristóteles às neurociências**. Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora Unesp, 2012.

WOLPAW, Jonathan; WOLPAW, Elizabeth Winter (ed.). **Brain-computer interfaces: principles and practice**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

YZQUIERDO, Ivan. **A arte de esquecer: cérebro e memória**. Rio de Janeiro: Vieira e Lent (2010).

ZEMPLICKA, Kurt. The rhetoric of enhancing the human: Examining the tropes of “the human” and “dignity” in contemporary bioethical debates over enhancement technologies. **Philosophy & Rhetoric**, v. 46, n. 3, p. 257–279, 2013.

ZORZANELLI, Rafaela Teixeira; ORTEGA, Francisco; BEZERRA JÚNIOR, Benilton. Um panorama sobre as variações em torno do conceito de medicalização entre 1950-2010. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 1859-1868, 2014.

ZUBOFF, Shoshana. Surveillance capitalism or democracy? The death match of institutional orders and the politics of knowledge in our information civilization. **Organization Theory**, v. 3, n. 3, 2022.