



Universidade de Brasília

**INOVAÇÃO FRUGAL NA PESQUISA ACADÊMICA:
ESTUDO DE CASO DO PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTAGEM DE TRICICLO
COM PEDAL ASSISTIDO POR MOTOR ELÉTRICO – UMA ALTERNATIVA DE
TRANSPORTE INDIVIDUAL NAS CICLOVIAS DO DISTRITO FEDERAL.**

LUIZ ROBERTO DA CUNHA FREITAS JUNIOR

Brasília-DF

2026

LUIZ ROBERTO DA CUNHA FREITAS JUNIOR

**INOVAÇÃO FRUGAL NA PESQUISA ACADÊMICA:
ESTUDO DE CASO DO PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTAGEM DE TRICICLO
COM PEDAL ASSISTIDO POR MOTOR ELÉTRICO – UMA ALTERNATIVA DE
TRANSPORTE INDIVIDUAL NAS CICLOVIAS DO DISTRITO FEDERAL.**

PROJETO DE TESE DE MESTRADO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA, AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. LINHA DE PESQUISA: ESTRUTURAS E ARQUITETURA

Orientador: Prof. Dr. João da Costa
Pantoja

Brasília-DF
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

FREITAS JUNIOR, Luiz Roberto da Cunha.

Inovação frugal na pesquisa acadêmica: estudo de caso do projeto, construção e testagem de triciclo com pedal assistido por motor elétrico – uma alternativa de transporte individual nas ciclovias do Distrito Federal / Luiz Roberto da Cunha Freitas Junior. – Brasília, 2026.

Orientador: João da Costa Pantoja.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) –
Universidade de Brasília, 2026.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FREITAS JUNIOR, Luiz Roberto da Cunha. *Inovação frugal na pesquisa acadêmica: estudo de caso do projeto, construção e testagem de triciclo com pedal assistido por motor elétrico – uma alternativa de transporte individual nas ciclovias do Distrito*

Federal. 2026. 102 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2026.

À Universidade de Brasília é concedida permissão para reproduzir cópias desta tese, assim como é autorizado o empréstimo e a venda de tais cópias, apenas para fins acadêmicos e científicos. O autor reserva todos os outros direitos de publicação, e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem sua autorização por escrito.

_____ Assinatura

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU
Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo –
PPG/FAU

Inovação frugal na pesquisa acadêmica: estudo de caso do projeto, construção e
testagem de triciclo com pedal assistido por motor elétrico – uma alternativa de
transporte individual nas ciclovias do Distrito Federal

Luiz Roberto da Cunha Freitas Junior

Dissertação de Mestrado submetida à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do
grau de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. João, da Costa Pantoja / FAU – UnB (Orientador)

Dr. Lenildo Santos da Silva / FT - Unb

Dr. Kleber Adriano Silva e Oliveira / SENAC-SP

Resumo:

Esta dissertação apresenta a aplicação dos conceitos de inovação frugal em um estudo de caso voltado ao desenvolvimento de um triciclo elétrico assistido por pedal. O projeto, realizado no Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído (LabRAC) da Universidade de Brasília (UnB), buscou criar uma solução de mobilidade urbana sustentável, acessível e de baixo custo para as ciclovias do Distrito Federal. Adotou-se uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e explicativa, estruturada como estudo de caso, com coleta de dados por meio de entrevistas semiestruturadas, observação participante, análise documental e registro fotográfico. A investigação evidenciou que a aplicação prática dos princípios da inovação frugal foi determinante para viabilizar o projeto em um contexto de recursos limitados, resultando em um protótipo funcional com potencial de replicabilidade. Os resultados obtidos apontam contribuições relevantes para a inclusão social e a sustentabilidade ambiental, demonstrando que tais conceitos podem servir como alternativa eficaz aos métodos tradicionais de desenvolvimento de projetos acadêmicos.

Palavras-chave: Inovação frugal, mobilidade urbana, triciclo elétrico, sustentabilidade, projeto de baixo custo.

Abstract:

This master's dissertation presents the application of frugal innovation concepts in a case study focused on the development of a pedal-assisted electric tricycle. The project, carried out at the Built Environment Rehabilitation Laboratory (LabRAC) at the University of Brasília (UnB), aimed to create a sustainable, accessible, and low-cost urban mobility solution for bike paths in the Federal District of Brazil. A qualitative, exploratory, and explanatory approach was adopted, structured as a case study, with data collected through semi-structured interviews, participant observation, document analysis, and photographic records. The investigation showed that the practical application of frugal innovation principles was decisive in enabling the project in a context of limited resources, resulting in a functional prototype with replication potential. The findings indicate significant contributions to social inclusion and environmental sustainability, demonstrating that such concepts can serve as an effective alternative to traditional methods of developing academic projects.

Keywords: Frugal innovation, urban mobility, electric tricycle, sustainability, low-cost project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo CAD.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2 – Modelo do Projeto assistido	Erro! Indicador não definido.
Figura 3 - Chassi inicial para montagem do triciclo V1.0.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 4 - Guidão adaptado para o triciclo	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 - Design do novo guidão com guidão manufaturado.	Erro! Indicador não definido.
Figura 6 – Gaiola com folhas PVC	72
Figura 7 - Versão finalizada da primeira versão do protótipo	73
Figura 8 - Painel solar flexível instalado no teto	75
Figura 9 - Controlador MPPT e suas conexões.....	75
Figura 10 - Imagem do MPPT em condição de operação.	75
Figura 11 - Vista do Modelo 3D do chassi V1.0	Erro! Indicador não definido.
Figura 12 - Vista Superior do chassi projetado V1.0. ...	Erro! Indicador não definido.
Figura 13 - Vista Frontal do chassi projetado V1.0.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 14 - Detalhe da manga de eixo	90
Figura 15 - Nova coluna de direção com volante	90
Figura 16 - Resultado de deformação da análise estática	90
Figura 17 - Resultado de tensão principal da análise estática	91
Figura 18 - Coluna de direção apoiada com volante	91
Figura 19 - Eco-T finalizado	92
Figura 20 - Versão 2.0 do protótipo finalizado.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise da representação de gênero	83
Gráfico 2 - Análise da representação etária	84
Gráfico 3 - Análise individual dos parâmetros relacionados à utilização do triciclo ..	85
Gráfico 4 - Análise conjunta dos parâmetros relacionados à utilização do triciclo ...	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Inovação tradicional x inovação frugal.....	21
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens	76
Tabela 3 - Testes	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FAU/UnB	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília
PPG	Programa de Pós-Graduação

LISTA DE SÍMBOLOS

Γ	Letra grega Gama
λ	Comprimento de onda
\in	Pertence

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Contextualização da temática	19
1.2. Formulação do Problema	21
1.2.1. Objetivo Geral	24
1.2.2. Objetivos Específicos.....	24
2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	25
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
3.1. Inovação Frugal	27
3.2. Contexto Sociocultural Brasileiro	28
3.2.1. Inovação Frugal e Gambiarra	29
3.2.2. O Jeitinho Brasileiro	31
3.3. Perspectivas Teóricas e Conceitos Correlatos	33
3.4. Conceitos de Prototipação e Desenvolvimento Ágil (MVP e MLP)	34
3.4.1. Produto Mínimo Viável (MVP).....	35
3.4.2. Produto Mínimo Amável (MLP).....	35
3.4.3. Prototipação Iterativa e Inovação Frugal	36
3.5. Consumo, Cultura e Bem-Estar conectados a inovação frugal	36
3.5.1. Consumer Culture Theory.....	36
3.5.2. Transformative Consumer Research	37
3.5.3. Estimulando uma Cultura de Uso Compartilhado (Time-Share)	37
3.5.4. Guiando Experimentos e Reforçando a Relevância Social	38
3.6. Exemplos da inovação frugal relacionados ao tema do estudo de caso	39
3.6.1. Mobilidade urbana.....	39
3.6.2. Inovação frugal na Academia.....	41
4. METODOLOGIA	51
5. ESTUDO DE CASO	52
5.1. O Projeto	52
5.2. Fases do Projeto e impacto da Inovação Frugal	54
5.2.1. Reestruturação da Equipe	54
Equipe do Projeto	55
5.2.2. Criação de novo plano de projeto: Revisão Bibliográfica, Design inicial e logomarca	57
5.2.3. Identidade Visual do projeto.....	59
5.2.4. Construção dos protótipos	60
5.2.5. Protótipo V.0.....	61
5.2.6. Segurança	68
5.2.7. Central de controle.....	69
6. PROTÓTIPO VERSÃO V1.0	70

6.1. Estrutura e Materiais	70
6.2. Motorização e Sistema Elétrico.....	73
6.3. Painéis Solares	74
6.4. Tecnologias de painéis solares.....	76
6.5. Estudo de Viabilidade Econômica	77
6.6. Pesquisa de Campo para Avaliação da Aceitabilidade do Triciclo	78
7. BANCO DE DADOS	82
7.1. Análises	83
8. PROTÓTIPO VERSÃO 2.0	88
8.1. Motorização e Sistema Elétrico.....	89
8.2. Direção, Ergonomia e Segurança	89
8.3. Design, estética e acabamento final	91
8.4. Sugestão de framework para inovação frugal na Academia.....	93
8.5. Pilares Fundamentais, conceitos que ajudam a inovar de maneira frugal.	95
8.6. Fases do Framework	95
8.6.1. FASE 1	95
8.6.2. FASE 2	97
8.6.3. FASE 3	98
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
10. REFERÊNCIAS.....	105

1. INTRODUÇÃO

A Inovação Frugal é eventualmente confundida, no Brasil, com o termo “gambiarra”, que carrega, em geral, uma conotação negativa, sendo comumente associada a soluções improvisadas e precárias. Entretanto, seu significado no contexto brasileiro pode ultrapassar a mera improvisação técnica, revelando-se como um fenômeno cultural que integra criatividade e adaptabilidade na resolução de problemas cotidianos com recursos limitados (Bouffleur, 2013). Trata-se de um conceito que opera em um espectro que vai da inventividade à precariedade, evidenciando, ao mesmo tempo, a capacidade de inovação e as desigualdades estruturais do nosso país (Grossi & Romeiro Filho, 2024).

Em contraposição a esse caráter espontâneo e informal, a inovação frugal se apresenta como um paradigma mais sistematizado. Radjou et al. (2012) a definem como “a criação de soluções acessíveis, sustentáveis e escaláveis em contextos de escassez, com foco em impacto social”.

A inovação frugal vai além do desenvolvimento de soluções acessíveis, simples, eficientes e perenes, mas especialmente voltadas a atender as necessidades de populações com recursos limitados ou inseridas em contextos de baixa infraestrutura. Tal abordagem pode se referir a produtos, serviços ou processos de baixo custo, fáceis de usar, adaptáveis ao contexto local e capazes de solucionar problemas essenciais de maneira sustentável. Ao valorizar a criatividade na reutilização de recursos existentes, a simplicidade de design e a possibilidade de escalabilidade, a inovação frugal tem o intuito de buscar a inclusão social e fomentar o desenvolvimento de soluções de grande impacto social. E em muitos casos a própria viabilidade de um projeto.

No cenário global, observam-se manifestações análogas: o conceito indiano de '*Jugaad*' (improvisação inteligente), a abordagem chinesa '*Di chengběn chuàngxīn*' (inovação de baixo custo) e o '*Bricolage*' francês (Lévi-Strauss, 1962). Essas práticas compartilham a premissa de maximizar recursos limitados, mas divergem em formalização metodológica. Enquanto a gambiarra brasileira muitas vezes permanece no âmbito do provisório, a inovação frugal institucionaliza esses processos, transformando-os em estratégias replicáveis (Tiwari & Herstatt, 2017).

Através da revisão de literatura e da articulação com conceitos de inovação frugal, busca-se compreender para além de visões estigmatizadas, reconhecendo-a

como uma prática social e tecnológica relevante, reflexo de contextos de escassez, mas também de resiliência e inventividade. O estudo visa contribuir para um entendimento mais aprofundado das dinâmicas de adaptação e criação em contextos periféricos e emergentes, e que principalmente a possibilidade de ser aplicado à pesquisa formal, principalmente acadêmica.

Os conceitos relacionados à inovação frugal vêm se manifestando nas mais variadas esferas do cotidiano, desde pequenos reparos domésticos até complexas adaptações em equipamentos e infraestruturas urbanas, o que transcende a mera definição de improviso técnico. Pode-se dizer que popularmente em nosso país, o “jeitinho brasileiro”, é um fenômeno sociocultural profundamente enraizado, refletindo a capacidade de adaptação, a criatividade diante da escassez e, por vezes, a própria precariedade estrutural que marca a nossa sociedade. Este termo, carregado de ambiguidades, evoca simultaneamente a engenhosidade popular e o risco inerente às soluções não convencionais, oscilando entre o reconhecimento da inventividade e a crítica à falta de segurança ou qualidade (Bouffleur, 2013; Grossi & Romeiro Filho, 2024).

Como tratado anteriormente, o contexto da palavra gambiarra é relacionado diretamente a soluções improvisadas, descrevendo qualquer arranjo provisório, adaptação ou reparo feito com recursos limitados para resolver um problema urgente, colocando a sua caracterização central no improviso e na funcionalidade temporária muitas vezes.

Já a inovação frugal trata de algo mais profundo, apesar de estar presente, muitas vezes, na precariedade dos recursos. O objetivo é que a solução seja elegante e ao mesmo tempo perene, não diminuindo sua importância funcional no momento de sua criação, execução e manutenção da resolução de um problema.

O Brasil, nos últimos anos, vem passando por uma crise de desenvolvimento relacionada à inovação, além de questões de ordem econômica, onde os recursos estão cada vez mais escassos, ainda mais proeminente, quando falamos de inclusão na inovação. E governos, sob quaisquer bandeiras, tentam impor políticas e agendas em áreas específicas – como por exemplo a energia renovável, ou ainda, grupos específicos (por gênero ou cor da pele) e atores específicos (como corporações transnacionais ou organizações da sociedade civil). Embora cada uma dessas agendas específicas tenha legitimidade, estas apontam para implicações políticas

restritas, e isso mostra que claramente está faltando uma visão geral sistêmica do caráter multifacetado da área de pesquisa e desenvolvimento, que é ligada à inovação e de como seria possível inserir todos neste contexto. Sem essa visão geral, é difícil avaliar a importância de novas trajetórias e direcionar recursos, que se apresentam cada vez menores, de uma maneira mais eficiente, maximizando sinergias decorrentes das ações de diferentes atores, aproveitando uma ampla gama de inovadores em potencial. (Chataway, J et al, 2014).

O Brasil vem se mostrando um ambiente desafiador para o desenvolvimento de pesquisas, especialmente quando envolvem inovação. A pesquisa e desenvolvimento para inovação têm um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico e geração de riqueza em qualquer país, e podem contribuir melhorando a competitividade e agregando valor aos alvos da inovação. E quando, finalmente, acontecer em nível acadêmico, empresarial e social, tudo isso refletiria beneficentemente a população.

Segundo o Índice Global de Inovação (IGI) (2023) da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), as Nações mais desenvolvidas neste tema são a Suíça, a Suécia e os Estados Unidos. Após 12 anos abaixo dos primeiros 50 colocados desta lista, o Brasil finalmente ficou em primeiro lugar na América Latina, em 49º (WIPO, 2023).

Apesar disso, um grande problema persiste: a ausência de uma cultura de inovação no Brasil. Isto se deve a diferentes variáveis, um conjunto de fatores históricos, estruturais, econômicos e organizacionais que acabam por reforçar esse grande obstáculo.

A incerteza macroeconômica, crises recorrentes e volatilidade de regras reduzem o horizonte de qualquer tipo de planejamento e levam as empresas, e o próprio governo, a priorizarem sobrevivência de curto prazo, não a inovação, que de maneira geral tem longo prazo.

Sem contar com o sistema educacional brasileiro que possui grandes déficits em ciência, tecnologia, engenharia e matemática, áreas fundamentais para sustentar uma cultura inovadora. E isso só reflete diretamente nas empresas brasileiras que sentem a falta de pessoal qualificado, e isso é uma das maiores barreiras às atividades

de P&D e inovação, inclusive pelo fato que todos os setores têm alguma ligação com tecnologia.

Hoje no Brasil, a educação e um rigor organizacional tendem a valorizar reprodução de conteúdo e aversão ao erro, porém a criatividade, teste e aprendizado com falhas são itens importantes para o avanço da inovação em qualquer tempo ou área. Muitas organizações mantêm mentalidade defensiva, aversa aos riscos e orientada a custos e eficiência operacional imediata, o que dificulta investir em projetos incertos, inerentes a inovação.

Outro grande obstáculo é que a inovação, geralmente, é vista como custo, indicando que parte dos gestores ainda enxerga inovação como gasto opcional, e não como investimento estratégico para competitividade e sobrevivência.

O Brasil ainda não conseguiu superar problemas básicos de qualquer sociedade moderna: educação, saúde, locomoção, habitação e tantos outros. Por este aspecto, é compreensível e complicado resolver problemas mais elevados, já que os básicos ainda persistem. Esta característica não deveria impedir, mas propiciar projetos para resolver esses problemas, mesmo que considerados básicos.

Nossa história é pautada por um modelo industrial que prioriza, sobremaneira, a compra de tecnologias e conhecimento estrangeiros em detrimento da valorização do aperfeiçoamento interno e desenvolvimento de novas soluções, processos e produtos. A necessidade de imediatismo e a completa ausência de programas de Estado, com vistas apenas eleitorais – mais visíveis nos anos relativos a um mandato, hoje 4 anos (ou 8 se imaginarmos uma possível reeleição) – agregam mais complicadores a esse quadro histórico.

Soma-se a isso anos de um modelo educacional falho, que enfrenta diversos desafios que podem ser interpretados como sinais de falência em alguns aspectos, como a desigualdade relacionada a questões raciais e socioeconômicas, além da falta de infraestrutura e professores sem qualificação e acesso a recursos básicos.

Inovar precisa tratar dos problemas da sociedade, qualquer que seja o problema. Existe um pré-conceito que a pesquisa e desenvolvimento acadêmico deve tratar de problemas abstratos e quase insolúveis, ligados à alta tecnologia, ou a algo que deva, obrigatoriamente, gerar lucro.

Nesse cenário, a inovação frugal aparece como uma possibilidade real de desenvolver soluções tão eficientes quanto a inovação tradicional, mas sem se paralisar pela presença de recursos limitados, priorizando a simplicidade, viabilidade, acessibilidade e sustentabilidade (Radjou et al., 2012).

1.1. Contextualização da temática

A incorporação dos conceitos de inovação frugal em projetos de pesquisa acadêmica no Brasil se justifica pela urgente necessidade de promover soluções acessíveis, sustentáveis e socialmente inclusivas diante das desigualdades socioeconômicas que marcam o país. O Brasil, com sua vasta extensão territorial e grande diversidade de populações em situação de vulnerabilidade, enfrenta desafios relacionados à infraestrutura, ao acesso a tecnologias e a recursos financeiros, especialmente em regiões mais afastadas ou menos desenvolvidas.

Além disso, observa-se pouca clareza nos critérios de liberação de verbas, ou até mesmo contingenciamentos, para pesquisa e desenvolvimento. Projetos altamente relevantes, por terem como objetivo a resolução de problemas proeminentes e concretos, em algumas situações são preteridos por outros que possuem importância em termos de aquisição de conhecimento, mas com menor grau de urgência ou necessidade. Nesse contexto, a inovação frugal pode oferecer alternativa eficiente, ampliando as chances de sucesso dos projetos ao propor soluções simplificadas e de baixo custo, capazes de atender às necessidades essenciais, apoiando comunidades comumente excluídas de processos tradicionais de inovação tecnológica e contribuindo para a redução de desigualdades sociais.

A relevância do uso de inovação frugal, neste cenário, está alinhada às demandas nacionais por desenvolvimento sustentável e inclusivo. O Brasil, como signatário de acordos internacionais, como o Acordo de Paris (mudanças climáticas), a Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB), o Protocolo de Montreal (substâncias que destroem a camada de ozônio) e a Agenda 2030 (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), busca promover crescimento econômico com responsabilidade social, respeitando limitações ambientais e garantindo maior equidade. A inovação frugal inserida na pesquisa acadêmica pode subsidiar projetos voltados à criação de tecnologias eficientes, adaptáveis às condições brasileiras, que

utilizem recursos locais, priorizem sua reutilização e ampliem sua escalabilidade, minimizando impactos ambientais e fortalecendo a autonomia de grupos em situação de vulnerabilidade. Dessa forma, o conceito torna-se ferramenta estratégica para converter desafios complexos em oportunidades de mudança social.

Outro aspecto relevante da inovação frugal na pesquisa acadêmica brasileira refere-se à potencialidade de estimular a criatividade em um cenário no qual muitos procuram atalhos recorrendo à Inteligência Artificial.

A inovação frugal também pode impulsionar o empreendedorismo local, algo ainda pouco presente na Academia, em que o conhecimento, na maioria das vezes, se converte apenas em mais conhecimento teórico.

A ideia é buscar para a Academia e seus projetos a mesma lógica utilizada por incubadoras, coworkings e fundo de investimentos que procuram avidamente por “unicórnios” (empresas com *valuation* de 1 bilhão de dólares americanos), mostrar que existe um mundo além do digital, um mundo real, com problemas reais, e soluções que não somente podem resolver esses problemas, mas eventualmente poderiam ser convertidas em lucro.

A valorização de saberes tradicionais e de recursos já disponíveis nas comunidades, articulados ao conhecimento formal e acadêmico, pode ser catalisadora da busca por inovação na pesquisa. Essa abordagem fomenta cultura de inovação capaz de gerar soluções autênticas e contextualizadas, ampliando o impacto social e econômico em diferentes regiões do país, além de produzir novos conhecimentos para a Academia e seus corpos docentes e discentes. Ao focar em simplicidade, funcionalidade e viabilidade econômica, a inovação frugal possibilita que pesquisas acadêmicas se transformem em intervenções concretas e replicáveis, promovendo melhorias palpáveis na qualidade de vida e na inclusão social. A pesquisa baseada nesses conceitos contribui para fortalecer a inovação de base social e a autonomia das comunidades.

Por fim, a adoção de princípios de inovação frugal em projetos acadêmicos no Brasil envolve compromisso com a responsabilidade social do pesquisador e com o desenvolvimento de soluções que gerem impacto real na sociedade brasileira. A produção de conhecimentos que valorizem criatividade, sustentabilidade e acessibilidade reforça a postura ética voltada à transformação social, favorecendo

pesquisas que atendam às demandas de um país plural, diverso, em constante desenvolvimento e com problemas emergentes de múltiplas naturezas. Isso faz com que a inovação frugal se apresente como importante matriz teórica e prática, capaz de impulsionar o avanço da ciência e da tecnologia brasileiras de maneira mais inclusiva, sustentável e equitativa. E permitindo uma maior conexão das instituições de ensino superior não somente com a sociedade, mas com a iniciativa privada e o Governo.

Quando se trata de recursos para a pesquisa no Brasil, as informações não são muito otimistas, conforme os indicadores a seguir:

- Financiamento à pesquisa: o país investe apenas 1,2% do PIB em P&D (KOELLER, 2025), menos da metade da média global de 2,6% (OECD, 2023).
- Eficiência na alocação de recursos: 68% dos projetos acadêmicos enfrentam cortes orçamentários superiores a 30% durante a execução (CAPES, 2022).

O principal motivador da inovação frugal em qualquer contexto não se deve apenas a um ambiente hostil à pesquisa e desenvolvimento, mas ao fato de que estes podem ser ainda mais eficientes, como mostra o quadro abaixo:

Tabela 1 – Inovação tradicional x inovação frugal

Característica	Inovação Tradicional	Inovação Frugal
Custo médio	Alto (R\$ 500k+)	Baixo (R\$ 50k-R\$ 200k)
Tempo de desenvolvimento	3-5 anos	6-18 meses
Taxa de falha	40%-60%	15%-25%

Fonte: Adaptado de Bhatti, 2012; Zeschky et al., 2014.

1.2. Formulação do Problema

No Brasil, a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação (PD&I) enfrentam desafios que impactam diretamente o avanço científico e tecnológico do país, especialmente em nível de ensino superior. Um dos principais problemas é a falta de

investimentos governamentais e privados, impactando diretamente a criação e manutenção de laboratórios, equipamentos e capacitação de pesquisadores. Essa falta de financiamento dificulta a produção de conhecimento estruturado de ponta e a consolidação de uma produção científica de qualidade.

Outra questão de suma importância é a baixa conexão entre universidades e os institutos de pesquisa com o setor produtivo e a sociedade. Essa falta de integração prejudica a transferência de tecnologia, a inovação prática e a aplicação do conhecimento acadêmico na solução de problemas reais do país.

Além disso, muitas instituições de ensino superior que já sofrem com a deficiência de infraestrutura adequada, têm seus programas de incentivo à pesquisa ineficiente, o que ajuda a desmotivar a carreira acadêmica e reduz o interesse dos estudantes e do corpo docente de todas as áreas de conhecimento, promovendo a evasão dessas instituições. Este desinteresse também é percebido quando os instrumentos existentes para acesso ao ensino superior, como vestibulares e o ENEM, já não conseguem preencher as vagas disponíveis.

Como a pesquisa em quaisquer áreas se encontra aquém de seu potencial, isso escala os obstáculos relacionados à formação de recursos humanos qualificados para atuar como pesquisadores. A insuficiente valorização do pesquisador e a sua consequente baixa remuneração dificultam a retenção de talentos, levando muitos profissionais a buscarem oportunidades em outros países, em diferentes áreas na iniciativa privada ou como empreendedores individuais.

Existe uma lacuna de políticas e infraestruturas efetivas de estímulo à inovação, como incubadoras de empresas realmente funcionais, e não apenas coworkings. Também pode ser percebida a falta de apoio a startups relacionadas a produtos e serviços do mundo real, quando comparadas àquelas conectadas a ideias relacionadas à Internet. Os fundos de investimento estão focados em resultados imediatos com curtos períodos de retorno do investimento. Uma maior presença da Academia se faz necessária neste setor, visto que poderia fortalecer o empreendedorismo com foco na ciência no Brasil.

A cultura de inovação ainda enfrenta resistência da sociedade e das empresas, muitas vezes marcada por uma visão tradicionalista que prioriza as regras e manuais, sem contar com as atividades acadêmicas voltadas apenas à formação de

profissionais, sem estímulo ao livre pensamento e à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento de soluções inovadoras.

Todas essas dificuldades refletem a necessidade urgente de políticas públicas mais abrangentes e sistêmicas que promovam uma maior valorização da ciência e tecnologia no Brasil, integrando ensino, pesquisa e inovação de forma estratégica para impulsionar o desenvolvimento capaz de criar impactos positivos na sociedade. A combinação de baixa disponibilidade de recursos somada ao engessamento de regras e ao grande desinteresse da sociedade, vem tolhendo a produção de inovação no Brasil.

A inovação frugal surge como uma abordagem promissora na tentativa de enfrentar esses desafios, possibilitando o desenvolvimento de tecnologias e produtos acessíveis a populações de baixa e média renda.

Uma questão surge desta afirmação: - Como iniciar o desenvolvimento de pesquisas considerando a baixa quantidade de recursos financeiros, de profissionais e de estrutura?

Este presente estudo busca responder à questão acima e às seguintes:

- Como a inovação frugal pode ser aplicada em projetos dentro das instituições ensino superior?

- Quais os critérios técnicos, econômicos e sociais que devem nortear um projeto e seu desenvolvimento, de modo a garantir sua viabilidade (tanto técnica como econômica) e aceitabilidade social?

- Quais os impactos potenciais dessa inovação na promoção de bem-estar social, com sustentabilidade, inclusão e eficiência?

O problema central que orienta esta pesquisa é:

- De que forma a inovação frugal pode ser conjugada com o desenvolvimento de qualquer projeto, de forma a oferecer uma alternativa viável e adequada às condições do ambiente acadêmico?

Para responder a estas questões, faz-se necessário compreender como os princípios da inovação frugal podem ser acessados como ferramentas valiosas, considerando aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais.

A complexidade das questões demanda uma abordagem que contenha condições importantes, como um projeto que não somente tenha um viés inovador, mas também uma análise crítica de seu potencial de adoção social, de sua viabilidade econômica e de seu impacto ao alcançar os seus objetivos. Este estudo busca identificar as limitações técnicas e de implantação de uma inovação, assim como as possibilidades de disseminação de soluções similares em outros contextos.

Também visa demonstrar que os conceitos da inovação frugal podem incentivar a busca de alternativas e soluções mesmo em condições adversas, ajudando a contribuir com o sucesso de um projeto e com a produção de conhecimento, não somente através dos resultados, mas da jornada que auxilia a apoiar a implementação de outras soluções alternativas e incentiva não só a produção de inovação, mas a cultura de inovar.

1.2.1. Objetivo Geral

Mostrar a partir dos princípios da inovação frugal, o processo de criação e execução de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, no âmbito acadêmico, tendo como exemplo o estudo de caso de um triciclo com pedal assistido por motor elétrico, que se tornou, real e possível, a despeito de todos os problemas e obstáculos enfrentados.

Demonstrar, a partir dos resultados positivos obtidos, que a inovação frugal pode ser uma alternativa aos métodos tradicionais de pesquisas realizadas dentro de instituições de ensino superior.

1.2.2. Objetivos Específicos

Com o objetivo geral proposto, esta dissertação visa desenvolver os seguintes objetivos específicos.

1. Provar que os conceitos e princípios da inovação frugal são adequados para aplicação no desenvolvimento de projetos de pesquisa na Academia.
2. Mapear as necessidades do desenvolvimento de um projeto dentro da Academia, usando o estudo de caso do projeto do triciclo e identificando

os problemas, obstáculos e expectativas de cada uma das etapas deste projeto.

3. Verificar se a concepção, desenvolvimento e construção do projeto deste estudo de caso está alinhada aos princípios da inovação frugal, demonstrando suas vantagens.
4. Mensurar o impacto da inovação frugal no projeto e verificar se os objetivos foram atingidos para medir onde a inovação frugal teve seu papel de relevância.
5. Discutir o potencial de implementação e viabilidade da inovação frugal e seus conceitos para adoção pela Academia e pelas políticas públicas.

2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Nos últimos anos, cresceu a demanda global por soluções inovadoras acessíveis, sustentáveis e socialmente inclusivas. Nesse contexto, o conceito de inovação frugal se destaca como uma abordagem capaz de transformar desafios complexos em oportunidades de desenvolvimento de baixo custo, especialmente em países em desenvolvimento ou em regiões de baixa renda. Para projetos de pesquisa acadêmica, sua importância reside na capacidade de promover a inclusão social, estimular a criatividade e oferecer alternativas viáveis diante das limitações de recursos, além de impulsionar a produção de conhecimentos gerando impacto relevante na sociedade.

O conceito de inovação frugal vem sendo utilizado de diferentes formas e com diferentes nomenclaturas. Foram verificadas algumas raízes anteriores à Segunda Guerra Mundial e, em algumas referências, ligadas a movimentos dos anos 1950, ou seja, algo em torno de 70–80 anos de história prática antes da consolidação do termo atual. (Hindocha et al, 2021)

Segundo C. K. Prahalad e M. S. Krishnan (2008), a inovação frugal está ligada à capacidade de criar valor a partir de recursos limitados, eliminando custos desnecessários e focando na funcionalidade essencial do produto ou serviço. Para esses autores, “a essência da inovação frugal está em fazer mais, gastando menos, e com maior impacto social”. Essa perspectiva é fundamental para orientar projetos

que buscam a geração de conhecimento científico e a proposição de soluções pragmáticas e acessíveis às populações mais vulneráveis. Preceitos que devem, ou deveriam, ser muito importantes em países em desenvolvimento, como o Brasil.

A relevância da inovação frugal na pesquisa científica é sua potencialidade de contribuir para o desenvolvimento sustentável em países com infraestrutura limitada e desafios socioeconômicos diversos. Conforme SMITH (2010), “a inovação frugal representa uma nova forma de pensar a inovação, voltada para a simplicidade, eficiência e inclusão”, aspectos essenciais para promover a igualdade de oportunidades e reduzir desigualdades sociais e ambientais.

O Brasil tem uma grande heterogeneidade socioeconômica e regiões com altos índices de pobreza, o que leva à hipótese de que a adoção de uma abordagem frugal na pesquisa em todas as áreas, não somente nas Universidades, deveria ser uma política de Estado, para permitir o desenvolvimento de soluções que atenderiam às necessidades reais da população, sem demandar altos investimentos ou recursos.

O uso da inovação frugal em projetos de pesquisa tem o potencial de estimular o desenvolvimento de uma cultura de criatividade e adaptação, incentivando pesquisadores e estudantes a propor e buscar alternativas inovadoras frente às limitações estruturais enfrentadas na realidade local, onde os obstáculos seriam vistos não como empecilhos, mas como oportunidades.

Como destaca Tiwari e Herstatt (2017), “a inovação frugal não é apenas uma estratégia de desenvolvimento de produto, mas uma mentalidade de inovação que promove a criatividade com recursos limitados”. Essa abordagem favorece a formação de profissionais conectados às questões sociais e ambientais, capacitando-os a atuar de forma responsável e comprometida com o desenvolvimento de soluções que sejam funcionais ou que possam alavancar outros projetos com desafios semelhantes no futuro.

Outro aspecto importante refere-se ao impacto que a adoção de inovação frugal pode gerar na formulação das políticas públicas. Quando os pesquisadores investem na proposição de soluções inovadoras e acessíveis, estão contribuindo para ampliar o debate sobre inclusão social, sustentabilidade e eficiência na gestão de recursos públicos. Assim, como afirma Prahalad e Mashelkar (2010), “a inovação frugal representa uma oportunidade de transformar as cidades, as comunidades e os países,

promovendo crescimento inclusivo e responsável”. Este aspecto evidencia a importância de se integrar essa abordagem na academia, para que os resultados das pesquisas possam subsidiar ações concretas de políticas públicas voltadas à melhoria da qualidade de vida e à promoção de uma sociedade mais justa e sustentável. E não somente pensando nos resultados, mas como parte integrante da própria política pública, a inovação frugal poderia otimizar a distribuição de recursos para as pesquisas, onde muito mais projetos poderiam ser contemplados. Mudando um pouco a famosa expressão “fazer mais com menos”, para “fazer mais com o mesmo”.

Ações neste sentido representam uma oportunidade de democratizar o conhecimento e ampliar seus efeitos sociais. Segundo o autor indiano C. K. Prahalad, “os maiores desafios da nossa sociedade exigem que os pesquisadores pensem de forma diferente, criando soluções acessíveis a todos, independentemente do nível socioeconômico”. Essa visão reforça a ideia de que a inovação frugal, aliada a uma visão científica, pode contribuir, efetivamente, para a construção de um conhecimento que dialoga diretamente com as necessidades da sociedade e que possui potencial de transformador de realidades, onde as limitações de recursos representam um obstáculo ao desenvolvimento sustentável.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Inovação Frugal

O que significa inovação frugal? O que diferencia inovação frugal de outros tipos de inovação? Basicamente são as inovações que tratam diretamente de custos significativamente menores, facilidade de uso, recursos limitados e baixo impacto no meio ambiente (Weyrauch, T., Herstatt, C., 2017). O verdadeiro desafio para a inovação frugal é introduzir algo novo ou diferente (inovação) e ao mesmo tempo economizar recursos (frugal). (Pissoni, A et al, 2018)

Essa abordagem tem ganhado destaque em cenários de restrições financeiras, escassez de matérias-primas ou mercados emergentes, onde a economia e a acessibilidade são essenciais (Bhatti, 2012). Observa-se, porém, que novos mercados repletos de novas possibilidades podem e, devem ser foco para as organizações que pretendem manter-se atuantes. Novas abordagens como as de inovações que focam no baixo custo estão ganhando força e destaque, tanto nos meios acadêmicos quanto

nos organizacionais, isso deve-se ao fato de que as empresas começaram a perceber que a manutenção de seu atual modelo de negócios tende a levar ao fracasso. Com isso, entender tais inovações, suas perspectivas e variações é um passo inerente ao sucesso das organizações em mercados de baixa renda, onde a maior parte da população se encontra na maioria dos países do mundo. (Ferreira, V., 2015)

Hoje, no Brasil, de uma maneira geral, muitas das pesquisas na Academia dependem de recursos diretos da entidade de ensino a qual o pesquisador está vinculado, ou de algum órgão governamental que disponibilize recursos através de editais ligados a uma fundação governamental de apoio à pesquisa. Ainda assim, os valores disponibilizados nunca são suficientes, mas apenas possíveis naquele momento, e com risco de serem cortados ou contingenciados no meio do caminho, trazendo um grande nível de insegurança e risco para qualquer projeto.

Os conceitos da inovação frugal podem ser aplicados em quaisquer áreas de conhecimento, como por exemplo a engenharia, agronomia, educação, saúde, transporte etc. Em vários casos, os resultados obtidos foram bastante significativos em termos de redução de custos e do impacto ambiental (Bhatti, 2012).

No contexto da mobilidade urbana, veículos elétricos de baixo custo, como bicicletas e triciclos assistidos por pedal, têm ganhado destaque como alternativas viáveis para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover a inclusão social (Zeschky et al., 2014).

É importante destacar que ofertar produtos e serviços derivados de inovação frugal, não significa que não fizeram uso de tecnologia. Na verdade, é possível entregar alta tecnologia com baixo custo reduzindo e alavancando os recursos disponíveis, apostando em ideias alternativas e criatividade (Silva, I. M., 2018). Este caminho possibilita que acadêmicos de vários campos enfrentem os desafios encontrados em suas pesquisas com as oportunidades que a inovação frugal pode oferecer, principalmente em se tratando de inclusão (George, G. et al, 2012).

3.2. Contexto Sociocultural Brasileiro

3.2.1. Inovação Frugal e Gambiarra

No Brasil, do ponto de vista da Tecnologia e Inovação, a gambiarra dialoga intensamente com o conceito de Inovação Frugal, popularizado a partir do termo hindu "*Jugaad*" (Radjou et al., 2012). A inovação frugal refere-se à capacidade de criar soluções eficazes, de baixo custo e acessíveis, utilizando recursos mínimos, especialmente em contextos de economias emergentes. Grossi e Romeiro Filho (2024) comparam os dois conceitos, apontando semelhanças na abordagem improvisacional e no foco em resolver problemas com recursos limitados, mas destacando particularidades culturais e a conotação por vezes negativa associada à gambiarra, ausente na inovação frugal.

A gambiarra também se conecta ao movimento histórico da Tecnologia Apropriada e, mais recentemente, da Tecnologia Social (Dagnino et al., 2004; Garcia, 1987), que criticam modelos tecnológicos importados e buscam desenvolver ou adaptar tecnologias socialmente justas, economicamente viáveis e ambientalmente adequadas aos contextos locais.



Exemplo de gambiarra

Fonte: Foto do autor (2025)

Um dos principais pesquisadores do tema no Brasil, Bouffleur (2007, 2013), analisa a gambiarra como forma alternativa de desenvolver artefatos, questionando a rigidez dos processos formais de design. A gambiarra pode ser entendida também como uma forma de Desobediência Tecnológica (Corrêa, 2019; Malhão, 2015), por subverter o uso prescrito dos objetos, adaptar tecnologias de modo não autorizado e

resistir à lógica do consumo e do descarte rápido, aproximando-se, em certos aspectos, das discussões sobre Design para a Inovação Social propostas por Manzini (2008, 2017), que enfatiza a capacidade das comunidades de criarem soluções colaborativas para seus próprios problemas. E esse é um ponto que diferencia inovação frugal e gambiarra, pois a inovação frugal não pressupõe desobediência, mas sim agrega valor às formalidades de um projeto acadêmico.

Na Antropologia e na Sociologia, a gambiarra pode ser compreendida pelo conceito de *Bricolage*, desenvolvido por Claude Lévi-Strauss. O *bricoleur* é aquele que trabalha com as mãos, utilizando meios e materiais heterogêneos disponíveis, recombina-os de forma criativa para realizar um projeto (Hernández et al., 2018; Lima, 2022). A gambiarra é, em essência, uma forma de bricolagem técnica, expressão da capacidade humana de criar a partir do que está disponível no ambiente imediato. Como já mencionado, a análise sociológica também a associa ao Jeitinho Brasileiro (DaMatta, 2007), explorando as complexas relações entre informalidade, criatividade e normas sociais no Brasil.

Até a arte contemporânea brasileira frequentemente se apropria da gambiarra, não apenas como técnica, mas também como conceito e estética (Lagnado, 2003; Lopes, 2018). Artistas recorrem ao improviso em situações em que tudo parece estar contra, com pouco tempo e em condições precárias para transmitir uma mensagem, criticando a sociedade de consumo, explorando a identidade cultural ou simplesmente celebrando a inventividade popular. Essa apropriação artística torna ainda mais complexo o entendimento da gambiarra, elevando-a de mera solução técnica a potente símbolo cultural.

Mas é importante ressaltar que, embora a gambiarra seja símbolo cultural brasileiro e mantenha conceitos assemelhados, a inovação frugal constitui um conjunto de boas práticas no desenvolvimento de projetos e pesquisas que busca soluções e o alcance de metas mesmo em situações adversas e com recursos escassos. Sem excluir toda a metodologia hoje consolidada para o desenvolvimento de pesquisa acadêmica, seu objetivo principal é funcionar como um conjunto de ferramentas que possam viabilizar projetos nas condições atualmente oferecidas em nosso país.

O conceito e a comparação com a gambiarra são amplamente desenvolvidos e reafirmados neste trabalho para evidenciar que a inovação frugal é um conceito muito

mais profundo, técnico e profissional. E que apesar das dificuldades e barreiras relativas à introdução de seus preceitos no mundo acadêmico, encontra ambiente culturalmente fértil e propício nas pessoas, pois parece existir uma espécie de “boa” semente plantada muito cedo nos brasileiros, incentivando criatividade e resolução de problemas.

3.2.2. O Jeitinho Brasileiro

O Brasil possui traços culturais marcantes, dinâmicas sociais complexas e realidades econômicas desafiadoras. A inovação frugal não pode ser entendida simplesmente como uma mera improvisação nesse contexto sociocultural, exigindo a proposição de formas de interação com o ambiente material e com as normas estabelecidas que reflitam simultaneamente a criatividade e as contradições da sociedade brasileira, como seus preconceitos. Nosso país está em condições favoráveis para aproveitar a cultura do uso da criatividade na resolução de problemas e aprofundar as raízes da inovação frugal na área de pesquisa e desenvolvimento. (Castro, et al, 2022)

Reforçando, a inovação frugal não pode ser considerada ou confundida, apesar de semelhanças conceituais, com o "jeitinho brasileiro", conceito amplamente discutido por autores como Roberto DaMatta (1986). O "jeitinho" refere-se a uma forma informal e pessoal de resolver problemas, muitas vezes contornando regras ou hierarquias para obter solução favorável em situações adversas. Nesse sentido, pode ser visto como solução improvisada que permite "dar um jeito" em uma dificuldade técnica ou material, marcada pela informalidade, pela busca de alternativas fora dos padrões estabelecidos e por certa ambiguidade moral, podendo ser interpretada como engenhosidade ou transgressão (Prado, 2012).

Embora essa maneira peculiar e bem brasileira de resolver problemas se manifeste em diferentes estratos sociais, pode assumir contornos particularmente significativos nas camadas populares e periferias urbanas. Nesses contextos, historicamente marcados pela escassez de recursos, pelo acesso limitado a bens e serviços de qualidade e pela presença muitas vezes insuficiente do Estado, essa maneira nada ortodoxa do brasileiro de resolver problemas, emerge não apenas como opção, mas frequentemente como necessidade para a sobrevivência e a melhoria das

condições de vida (Perpetuo, 2024; Matos, 2018). Adaptações em moradias precárias, extensões improvisadas de redes elétricas e de água, reparos em eletrodomésticos com peças não originais e criação de ferramentas a partir de sucata ilustram essa estratégia cotidiana de resiliência, resistência e autonomia frente às adversidades (Corrêa, 2019).

Essa dimensão popular vincula um vasto repertório de saberes técnicos informais, transmitidos e aprimorados fora dos circuitos formais de educação e produção. É expressão da "inteligência prática", da capacidade de encontrar soluções com os meios disponíveis, muitas vezes desafiando a lógica do consumo e da obsolescência programada. Nesse sentido, esse "jeitinho" pode ser interpretado como forma de "desobediência tecnológica" (Malhão, 2015; Corrêa, 2019), recusando em aceitar passivamente as limitações impostas pelo mercado, pela sociedade, pelo governo ou pela falta de acesso, buscando modificar, adaptar e prolongar a vida útil dos objetos.

Do ponto de vista sociológico e antropológico, essa prática no dia a dia, também revela aspectos importantes sobre a sociedade brasileira. A troca de conhecimentos técnicos informais, a ajuda mútua na realização de reparos e adaptações e a própria circulação de objetos consertados por esses meios fortalecem laços comunitários e criam formas alternativas de economia e colaboração, especialmente em contextos em que instituições formais são ausentes, ineficazes ou simplesmente distantes da realidade econômica de grande parcela da população.

Contudo, é crucial evitar a romantização dessas práticas improvisadas, cuja proliferação, em determinados contextos, é em grande medida sintoma de desigualdades estruturais e da falta de acesso a condições dignas de moradia, infraestrutura e consumo. A necessidade de improvisar constantemente pode gerar sobrecarga, estresse e, como mencionado, riscos à segurança e à saúde, além de elevar o nível de conformismo social, adiando a busca por soluções reais e definitivas. Portanto, essa análise sociocultural evidencia o papel que a inovação frugal precisa assumir, equilibrando o reconhecimento da potência criativa e de resistência com a crítica às condições sociais que tornam ainda mais necessária a pesquisa e desenvolvimento para quaisquer sociedades.

3.3. Perspectivas Teóricas e Conceitos Correlatos

A compreensão da inovação frugal se enriquece ao ser observada por diferentes lentes teóricas e ao ser comparada a conceitos correlatos que emergem em diversas áreas do conhecimento. Essa abordagem permite situar seus fundamentos em debate mais amplo sobre criatividade, improvisação, simplicidade, redução de custos, adaptabilidade, priorização, acessibilidade, reutilização, escalabilidade, design e inovação social.

A criatividade desempenha papel absolutamente central e indispensável, atuando como uma espécie de motor. Nesse cenário, manifesta-se não apenas como faísca de inspiração, mas como habilidade estratégica para repensar problemas, enxergar oportunidades em restrições e recombina recursos existentes de formas não convencionais. A mentalidade frugal praticamente exige esse olhar além do convencional para atender às necessidades reais do projeto, evidenciando que fazer uso "do que se tem à mão" é um dos principais ativos da inovação frugal. (Viana, et al, 2021; Ferreira, 2015)

A improvisação é fundamental ao permitir que soluções sejam concebidas com recursos escassos e materiais disponíveis. Essa habilidade de pensar rapidamente e ajustar ideias às condições do momento ajuda a superar obstáculos e criar alternativas viáveis, promovendo cultura de inovação que valoriza flexibilidade diante de restrições. (Castro, 2022)

A simplicidade garante que produtos e serviços sejam fáceis de entender e usar por todos, principalmente nas comunidades de baixa renda. Ao eliminar complexidades desnecessárias, a inovação torna-se mais prática e eficiente, facilitando disseminação e uso em diferentes contextos, o que amplia seu impacto social. Reduzir custos, mais que prioridade, é necessidade na inovação frugal, que busca criar soluções economicamente viáveis com recursos limitados. Focar na minimização de gastos aumenta a viabilidade do projeto e a possibilidade do seu sucesso.

Sem adaptação, qualquer solução deixaria de atender às necessidades específicas de diferentes projetos e situações. Essa capacidade de ajustar todo o

projeto, e obviamente, todos seus componentes: tarefas, entregáveis, pessoal, recursos, cronograma e processos às condições que estiverem naquele momento disponíveis, isso irá garantir uma maior relevância, eficiência e aceitação, elevando as probabilidades de que os projetos cheguem aos seus bons termos.

Priorizar significa concentrar esforços e recursos nas necessidades mais urgentes e essenciais do projeto ou pesquisa. Essa abordagem assegura que as soluções sejam realmente relevantes e eficientes, buscando impacto imediato e evitando dispersão de esforços em funcionalidades secundárias ou supérfluas, preservando todo tipo de recursos, tangíveis ou intangíveis.

Escala é palavra desejável em qualquer projeto, especialmente naqueles movidos pela inovação frugal, pois permite que soluções, projetos e pesquisas bem-sucedidos sejam ampliados e replicados, para atingir público maior com eficácia. Essa capacidade de crescer, se adaptar e dar frutos em diferentes situações, locais ou necessidades assegura o impacto potencial das inovações frugais.

No campo do design, a prática de artifícios improvisados desafia noções tradicionais de projeto formal e produção industrial, aproximando-se do conceito de Design Vernacular, que valoriza soluções criadas espontaneamente pelas pessoas em seu cotidiano, utilizando saberes e materiais locais em oposição ao design hegemônico (De Paula Jose & Pinheiro, 2023).

A transformação social está no coração da inovação frugal, pois busca gerar mudanças positivas na vida das pessoas, da sociedade e das comunidades menos favorecidas, promovendo inclusão, equidade e sustentabilidade. Ela orienta o desenvolvimento de soluções que atendem necessidades sociais essenciais, contribuindo para o bem-estar coletivo e a redução das desigualdades. Em outras palavras, a inovação frugal não se limita a apoiar o alcance dos objetivos de um projeto, pois o próprio desenvolvimento do projeto contribui para transformar todos os envolvidos, seja como participantes, seja como destinatários de seus entregáveis.

3.4. Conceitos de Prototipação e Desenvolvimento Ágil (MVP e MLP)

Para que a Inovação Frugal se manifeste em projetos práticos, especialmente em ambientes de recursos limitados como o acadêmico, o procedimento de pesquisa deve priorizar a simplicidade, a funcionalidade essencial e a validação rápida. Dentro

desse contexto, modelos modernos de desenvolvimento de produtos, como o MVP (Minimum Viable Product) e o MLP (Minimum Lovable Product), podem se alinhar de maneira robusta com a metodologia da inovação frugal.

3.4.1. Produto Mínimo Viável (MVP)

O conceito de Produto Mínimo Viável (MVP) refere-se à versão de um novo produto que permite à equipe coletar o máximo de aprendizado validado sobre os clientes com o menor esforço possível. Esta abordagem foca em entregar a funcionalidade essencial do produto ou serviço.

Esta filosofia de "mínimo" está intrinsecamente ligada à Inovação Frugal, que também busca maximizar o valor ao consumidor e minimizar o uso de recursos materiais e financeiros em toda a cadeia de valor. A inovação frugal exige a concentração de esforços e recursos nas necessidades mais urgentes e essenciais do projeto, o que é o cerne do MVP.

3.4.2. Produto Mínimo Amável (MLP)

Embora o MVP garanta a viabilidade funcional, o MLP (Produto Mínimo Amável) vai além, focando na conexão emocional e na satisfação do usuário. A MLP não apenas atende às necessidades básicas (como o MVP), mas o faz de uma maneira que gera entusiasmo e alta aceitação por parte do público-alvo.

Essa perspectiva complementa a Inovação Frugal, que não se restringe apenas à redução de custos, mas também busca criar soluções que sejam realmente relevantes e eficientes, priorizando o impacto social e a inclusão. A MLP, ao priorizar o design centrado no usuário e a experiência positiva, assegura que a solução frugal não seja percebida como algo improvisado ou tecnicamente limitada, mas sim como uma solução elegante e perene que cumpre ou excede os padrões de qualidade aceitáveis.

3.4.3. Prototipação Iterativa e Inovação Frugal

A aplicação dos conceitos de MVP e MLP suporta o processo iterativo e empírico de pesquisa, que é crucial para projetos que operam com limitação de recursos. A inovação frugal valoriza a flexibilidade metodológica e a superação de adversidades. Ao utilizar ciclos de prototipagem (MVP) seguidos de aprimoramentos focados na aceitação (MLP), o projeto é capaz de:

1. Reduzir a taxa de falha e o tempo de desenvolvimento, conforme a Inovação Frugal sugere (comparada à Inovação Tradicional).
2. Garantir a escalabilidade da solução, um aspecto fundamental da inovação frugal.
3. Assegurar a adaptabilidade e relevância ao contexto local, utilizando os resultados dos testes (como o feedback obtido na pesquisa de campo) para orientar a próxima iteração.

Desta forma, os procedimentos de prototipagem (MVP e MLP) funcionam como ferramentas estratégicas valiosas para a inovação frugal, transformando restrições em oportunidades criativas, e garantindo que o desenvolvimento do projeto acadêmico seja eficiente, de baixo custo e com elevado impacto social e funcional.

3.5. Consumo, Cultura e Bem-Estar conectados a inovação frugal

3.5.1. Consumer Culture Theory

A Consumer Culture Theory (CCT) trata o consumo não apenas como um ato econômico de compra, mas como um fenômeno social e cultural complexo. Nesta perspectiva, o consumo é hoje um determinante na constituição de identidades e estilos de vida.

O sistema de produção e consumo capitalista é, em sua essência, estruturalmente promotor de exclusão social e degradador do meio ambiente, orientando-se mais aos desejos de consumo do que às reais necessidades de uso. Este sistema hegemônico impõe uma espécie de cultura de imposição do consumo onde o indivíduo se vê em profunda dependência do mundo material dos objetos para encontrar sua identidade.

A CCT ajuda a contextualizar conceitos da frugalidade em oposição a essa lógica, visto que a Inovação Frugal emerge de contextos de escassez e busca soluções simples, eficientes e perenes, maximizando o valor ao consumidor e minimizando o uso de recursos.

O desafio da Inovação Frugal é justamente propor soluções que sejam acessíveis e socialmente inclusivas, desafiando a lógica de que o bem-estar está associado à aquisição constante de novos artefatos. Ao focar na funcionalidade essencial e na simplicidade, a frugalidade questiona a obsolescência programada e o hiperconsumismo, que são estratégias do capitalismo cognitivo para maximizar o lucro.

3.5.2. Transformative Consumer Research

A Transformative Consumer Research (TCR) é uma área de pesquisa que se dedica a estudar como o comportamento do consumidor pode evoluir e onde este pode ser direcionado para melhorar o bem-estar da sociedade e a qualidade de vida, promovendo, assim, a transformação social.

A TCR lida diretamente com o fato de que a ideia dominante de bem-estar no Ocidente, baseada no produto e no consumo crescente, é intrinsecamente insustentável. Por isso o desenvolvimento de soluções que priorizam a sustentabilidade ambiental (redução de emissões) e a saúde e bem-estar dos usuários, ajuda a materializar a busca por um novo conceito de bem-estar.

Alinhada a este aspecto, a inovação frugal tem o potencial de melhorar o bem-estar das populações de baixa renda (acessibilidade), oferecendo serviços básicos (inclusão) a preços mais acessíveis e qualidade aceitável.

3.5.3. Estimulando uma Cultura de Uso Compartilhado (Time-Share)

A TCR e a CCT, ao questionarem o foco na posse, abrem caminho para modelos de consumo colaborativo e acesso. O conceito de time-share se encaixa perfeitamente na tendência de consumo colaborativo, que já está se consolidando em países desenvolvidos (ex: compartilhamento de carros e casas) e é, em muitas formas, uma prática de Inovação Frugal.

A Inovação Frugal, especialmente quando aplicada a serviços e sistemas, facilita a transição de um modelo baseado na posse individual para um modelo baseado no acesso mais social.

- **Superação da Posse:** A posse de um veículo particular (como o automóvel), por exemplo, é um elemento chave na ideologia capitalista, mas a promoção da liberdade individual por meio de produtos materiais é frequentemente questionável e insustentável. A Inovação Frugal, ao promover a escalabilidade e a reaplicação, pode favorecer a implementação de sistemas de transporte alternativos e compartilhados.

- **Serviços Colaborativos:** Outros bons exemplos atualmente são os sistemas de transporte alternativos, como o car sharing e o carpooling, são exemplos de serviços colaborativos que desafiam os modos tradicionais de fazer, sendo intrinsecamente mais sustentáveis.

A TCR, ao valorizar a convivencialidade e a regeneração do tecido social, apoia o desenvolvimento de tais modelos, que exigem novas formas de organização social e a recuperação dos bens comuns (como as vias públicas e o espaço urbano). E não somente isso, tais práticas podem ajudar as pessoas se conectarem de maneira real saindo um pouco da individualidade e solidão do mundo virtual.

3.5.4. Guiando Experimentos e Reforçando a Relevância Social

A inclusão da CCT e TCR fornece uma base teórica robusta para orientar a condução de vários experimentos e a análise da aceitação social de um projeto.

1. **Validação de Valor Social:** A inovação frugal busca soluções que atendam a critérios pré-definidos de padrões de qualidade aceitáveis. Os experimentos de prototipagem e testagem (incluindo as pesquisas de campo) devem ir além da mera viabilidade técnica e mensurar o impacto social e a aceitabilidade cultural. A TCR direciona a pesquisa para medir o quanto a solução realmente melhora as condições de vida e o bem-estar.

2. **Abordagem Metodológica:** Para que a solução seja realmente "frugal" e "transformadora", o processo de desenvolvimento não pode ser imposto. A TCR, juntamente com a Inovação Frugal, exige uma mentalidade de inovação que promove

a criatividade com recursos limitados. Isso se reflete em métodos de pesquisa que buscam a participação dos usuários (co-criação de valor).

3.6. Exemplos da inovação frugal relacionados ao tema do estudo de caso.

A principal característica que define a inovação frugal é o desenvolvimento de soluções acessíveis, eficientes, sustentáveis e de fácil implementação, especialmente voltadas para populações de baixa renda e recursos limitados. Tal abordagem é perfeita e fundamental para o desenvolvimento de soluções de mobilidade, principalmente em áreas urbanas e populosas, que sejam principalmente acessíveis, como também sustentáveis, especialmente em países em desenvolvimento.

3.6.1. Mobilidade urbana

A mobilidade é um elemento central na qualidade de vida para populações que residem em áreas urbanas, impactando o acesso ao trabalho, educação, saúde e lazer. Os desafios incluem os grandes congestionamentos, altos índices de poluição, custos onerosos e tudo isto desemboca em acessibilidade limitada. Para enfrentar esses obstáculos, é necessária a adoção de soluções inovadoras que combinem eficiência, baixo custo e sustentabilidade.

Existem diversas soluções inovadoras de mobilidade sendo desenvolvidas em várias partes do mundo que se enquadram na lógica da inovação frugal, já que tratam diretamente de recursos limitados. Essas experiências revelam serem soluções simples, baratas e escaláveis que realmente atingem o objetivo como soluções de problemas relacionados a mobilidade.

- *E-Rickshaws* em Bangladesh

Em Bangladesh, a popularização do “*e-rickshaw*” representa uma inovação significativa na mobilidade de baixa renda. Os riquixás elétricos começaram a aparecer no país no final dos anos 2000, quando inovadores locais adaptaram os

riquixás movidos a pedal convencionais com motores elétricos chineses importados e baterias comuns de chumbo.

Estes “novos” veículos seguem o legado dos tradicionais riquixás movidos a pedal, que supostamente surgiram em Bangladesh em 1919 e têm sido um meio de transporte principal desde a década de 1960. Assim como seus antecessores, a maioria dos riquixás elétricos não é oficialmente registrada. Esses veículos surgiram por uma necessidade de transporte e de falta de renda, e com criatividade e recursos escassos estão redesenhando o sistema de mobilidade daquele país.

- Micro-ônibus na África Subsaariana

Matatus são mais do que um mero transporte público, esses veículos são símbolos nas ruas movimentadas da capital do Quênia. Artistas de rua e Grafiteiros competem para tornar cada matatu mais interessante, com designs personalizados e cores vibrantes.

Essa arte é o torna um matatu exclusivo, uma espécie de galeria móvel onde é a arte que atraí os passageiros. Os matatus são, há muito tempo, uma cultura única que exhibe o melhor da criatividade local. Os matatus são veículos de passageiros sempre bem cuidados, limpos e com um aroma agradável. Tornando uma viagem um momento encantador, longe da agitação da cidade. E tão diferente quanto o grafite, os matatus são rápidos; os motoristas sabem como manobrar em meio aos engarrafamentos durante os horários de pico, bem como em todos os atalhos, para onde os passageiros desejem ir.

Para complementar o exterior deslumbrante, o interior dos matatus é sempre artístico e estimulante. Projetados para o máximo conforto, alguns até têm sistemas de som personalizados instalados sob os assentos. Outros têm telas de plasma para que os clientes possam desfrutar de vídeos, notícias e novelas populares. Os matatus mais comuns vêm com uma pequena tela fixada atrás de cada assento para oferecer a cada passageiro seu próprio entretenimento durante a viagem. Os matatus também oferecem wi-fi gratuito para atrair jovens antenados a tecnologia que desejam navegar na internet ou bater papo com os amigos, assim como empresários que precisam estar constantemente conectados ao escritório e aos clientes.

Um matatu é muito mais do que apenas um meio de transporte e, antes de pegar a estrada, são necessários meses de preparação cuidadosa. Tudo começa com mecânicos montando o chassi desmontado de um novo caminhão. Em seguida, eles soldam os esqueletos e fixam os painéis para criar uma tela para os artistas colocarem sua criatividade em ação. Todo o processo emprega muitos trabalhadores e grafiteiros, a maioria jovens. Um matatu personalizado pode custar mais de 2 milhões de xelins (US\$ 20.000). Embora o custo seja alto, ele é facilmente recuperado quando o matatu começa a receber passageiros. As pessoas pagam mais para andar em um matatu personalizado coberto de grafite do que em um matatu que parece comum ou não captura sua imaginação.

Há alguns anos, a Autoridade Nacional de Transporte e Segurança (NTSA) proibiu telas, música e grafite em matatus. Durante a proibição, todos os matatus eram obrigados a ser brancos com uma faixa amarela. De acordo com a NTSA, a proibição visava promover a segurança e manter os para-brisas livres de pichações. A proibição foi suspensa em 2015 pelo presidente Uhuru Kenyatta, que via o grafite como inovador e uma fonte de sustento para milhares de jovens. Desde então, o matatu singular tem se fortalecido cada vez mais e é motivo de orgulho para os quenianos. Provando que criatividade ousada e bons negócios podem caminhar juntos.

3.6.2. Inovação frugal na Academia

Aqui seguem alguns exemplos de sucesso da presença da inovação frugal em projetos desenvolvidos dentro da Academia.

- Despolpadora de Butiá (UniSul)

Este projeto, desenvolvido por engenheiros da Universidade do Sul de Santa Catarina (UniSul) em colaboração com extrativistas da região de Laguna, exemplifica a inovação frugal ao criar uma solução de baixo custo e alta eficiência para a despolpa do butiá (Butiá é o fruto de uma palmeira conhecida como butiazeiro, e suas variedades estão espalhadas em diferentes partes da América do Sul. No Brasil, são encontradas 20 espécies nativas, das quais dez são exclusivas do país). A iniciativa surgiu da necessidade de otimizar o processo de extração da polpa do fruto, que é amplamente utilizado na produção de doces, sucos e geleias na região. A equipe da

UniSul focou em um design prático e acessível, utilizando materiais reciclados e técnicas de fabricação simplificadas para garantir a replicabilidade da tecnologia.

A máquina despulpadora foi construída predominantemente com peças reutilizadas, como um tubo de inox adquirido em um ferro-velho, e incorporou filtros com diferentes tamanhos de poros para otimizar a separação da polpa. Essa abordagem não apenas reduziu significativamente os custos de produção, mas também demonstrou a viabilidade de criar equipamentos funcionais a partir de recursos limitados. A simplicidade do design permite que o equipamento seja facilmente montado e mantido, mesmo por usuários com pouca experiência técnica, o que é crucial para a adoção em comunidades com recursos restritos.

Os resultados do projeto foram notáveis, com a despulpadora alcançando uma eficiência de 68%, um aumento considerável em comparação com os 40% de eficiência dos equipamentos anteriormente utilizados pelos extrativistas. Além disso, a versatilidade da máquina foi comprovada, pois ela pode ser adaptada para despolpar outras frutas com características semelhantes, como seriguela e acerola, ampliando seu impacto e utilidade. O sucesso do projeto ressalta o potencial da inovação frugal em gerar soluções eficazes para problemas locais, promovendo o desenvolvimento sustentável e a autonomia das comunidades.

Um aspecto fundamental deste projeto é que ele não busca a produção em massa ou a patenteamento para comercialização em larga escala. Em vez disso, o objetivo principal é capacitar as associações de produtores a construir seus próprios equipamentos, disseminando o conhecimento e a tecnologia de forma aberta. Essa filosofia alinha-se perfeitamente com os princípios da inovação frugal, que prioriza a acessibilidade, a adaptabilidade e a sustentabilidade das soluções, garantindo que elas atendam diretamente às necessidades dos usuários finais de maneira econômica e eficiente.

- Carrinho para Catadores de Materiais Recicláveis (UniSul)

Outro projeto notável da UniSul que incorpora os princípios da inovação frugal é o desenvolvimento de um carrinho otimizado para catadores de materiais recicláveis. A iniciativa surgiu da observação das dificuldades enfrentadas por esses trabalhadores, que frequentemente utilizavam carrinhos pesados, difíceis de manobrar e com capacidade de carga limitada. A equipe de pesquisa da universidade buscou uma solução que melhorasse as condições de trabalho dos catadores, aumentando sua eficiência e, conseqüentemente, sua renda, sem exigir grandes investimentos.

O processo de desenvolvimento do carrinho envolveu a colaboração direta com os catadores, que foram entrevistados para identificar suas principais necessidades e desafios. Essa abordagem participativa garantiu que a solução fosse verdadeiramente alinhada com as demandas dos usuários finais. O protótipo resultante foi projetado para ser mais leve e ergonômico, facilitando a movimentação em diferentes tipos de terreno e reduzindo o esforço físico exigido. A construção do carrinho foi realizada em parceria com uma oficina local, o que não só barateou o processo, mas também fortaleceu a economia da comunidade.

Em comparação com os modelos de carrinhos convencionais, o protótipo da UniSul demonstrou uma capacidade de carga superior, permitindo que os catadores transportassem um volume maior de materiais em cada jornada. Além disso, o custo de produção do novo carrinho foi significativamente menor, cerca de 60% a menos do que os modelos disponíveis no mercado, tornando-o acessível para um público com recursos financeiros limitados. A leveza e a facilidade de manobra foram características amplamente elogiadas pelos catadores, que relataram uma melhoria substancial em suas condições de trabalho.

Este projeto ilustra como a inovação frugal pode ser aplicada para resolver problemas sociais complexos, oferecendo soluções práticas e sustentáveis para populações vulneráveis. Ao focar na simplicidade, na eficiência e na acessibilidade, a UniSul conseguiu desenvolver um equipamento que não apenas atende a uma necessidade imediata, mas também promove a inclusão social e econômica dos catadores. A colaboração entre a universidade e a comunidade é um pilar fundamental da inovação frugal, garantindo que as soluções sejam relevantes e impactantes no contexto real.

- Ventiladores Mecânicos para Covid-19 (UniCesumar e Unoesc)

Durante a pandemia de Covid-19, a necessidade urgente de ventiladores mecânicos impulsionou uma onda de inovação frugal em diversas instituições, incluindo universidades e empresas. Projetos desenvolvidos em parceria, como os da UniCesumar e Unoesc, exemplificam como a restrição de recursos e a pressão do tempo podem levar a soluções criativas e eficazes. O objetivo era produzir equipamentos que pudessem ser fabricados rapidamente, em grande volume e a um custo acessível, para atender à demanda crescente por suporte respiratório em hospitais.

Esses ventiladores foram concebidos com um foco na funcionalidade essencial, eliminando componentes desnecessários e utilizando peças de menor custo em comparação com os modelos comerciais tradicionais. A agilidade no desenvolvimento foi impressionante, com alguns protótipos sendo criados e testados em apenas dois meses. Essa rapidez foi crucial para responder à emergência sanitária, demonstrando a capacidade de adaptação e a resiliência do ecossistema de inovação brasileiro. A colaboração entre engenheiros, médicos e pesquisadores universitários foi fundamental para o sucesso desses projetos.

Um estudo que entrevistou fabricantes desses novos modelos de ventiladores revelou que três dos quatro participantes solicitaram patentes para suas inovações. Isso indica que, embora desenvolvidos sob a égide da inovação frugal e com foco na acessibilidade, esses equipamentos possuíam um grau de originalidade e utilidade que justificava a proteção intelectual. A intenção de muitos fabricantes era continuar a produzir e comercializar esses ventiladores mesmo após o fim da pandemia, evidenciando o potencial de mercado e a sustentabilidade dessas soluções frugais.

O caso dos ventiladores mecânicos para Covid-19 é um exemplo poderoso de como a inovação frugal pode ser uma resposta eficaz a crises, transformando desafios em oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis e adaptadas às realidades locais. A capacidade de inovar com poucos recursos, mantendo a qualidade e a segurança, é um testemunho da engenhosidade e do espírito colaborativo que permeiam o ambiente universitário e a indústria brasileira, especialmente em momentos de grande necessidade.

- Aquecedor Solar de Baixo Custo (USP)

O Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC), concebido nos anos 1990 pelo engenheiro elétrico alemão Augustin Woelz no Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia (Cietec) da Universidade de São Paulo (USP), é um marco da inovação frugal no Brasil. Este projeto visava democratizar o acesso à energia solar para aquecimento de água, oferecendo uma alternativa econômica e sustentável aos chuveiros elétricos, que representam um alto consumo de energia e custo para muitas famílias. A ideia central era criar um sistema que fosse acessível e fácil de instalar, mesmo por leigos.

Desde 2001, o ASBC é promovido pela Sociedade do Sol, uma Organização Não Governamental (ONG) sediada em São Paulo, que dissemina o conhecimento e os materiais necessários para a construção do aquecedor. O grande diferencial do ASBC é que ele pode ser montado pelo próprio usuário, utilizando materiais de construção comuns e de baixo custo, como caixas-d'água de 310 litros, tubos plásticos e conexões hidráulicas. A ONG fornece manuais detalhados e orientações, capacitando as pessoas a se tornarem protagonistas na geração de sua própria energia térmica.

Mesmo para aqueles que preferem contratar um instalador especializado, o custo total do ASBC, incluindo peças, montagem e instalação, é de aproximadamente R\$ 1.800,00. Esse valor representa cerca de metade do preço dos modelos comerciais de aquecedores solares, tornando a tecnologia muito mais acessível para um público mais amplo. A economia gerada na conta de luz, especialmente em residências com chuveiros elétricos, proporciona um rápido retorno do investimento e um benefício financeiro contínuo para as famílias.

Um dos princípios mais inspiradores por trás do ASBC é a filosofia de abertura e compartilhamento. A Sociedade do Sol não se importa se a proposta for copiada, pois o objetivo é que o uso dessa tecnologia avance e beneficie o maior número possível de pessoas. Essa abordagem de código aberto e disseminação do conhecimento é um pilar da inovação frugal, que busca soluções escaláveis e replicáveis para problemas sociais e ambientais. Com mais de 2 mil aparelhos instalados no país, o ASBC demonstra o impacto positivo que a inovação frugal pode ter na vida das pessoas e na promoção da sustentabilidade.

- Prótese mecânica de baixo custo para membros (UFRB)

Este projeto representou o desenvolvimento de uma prótese mecânica de baixo custo para membros superiores, especificamente uma mão mecânica. O estudo ressalta a necessidade de soluções protéticas acessíveis, impulsionada pelo número significativo de pessoas com deficiências nos membros superiores e pelos avanços na tecnologia assistiva. A prótese desenvolvida é um dispositivo ativo acionado por um mecanismo puramente mecânico (mais simples), projetado para minimizar custos e maximizar a funcionalidade.

O processo de desenvolvimento empregou conceitos da inovação frugal, aprimorando um modelo existente da plataforma GRABCAD COMMUNITY, que é a maior comunidade online global para engenheiros, designers, fabricantes e estudantes das áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, funcionando como uma plataforma colaborativa para compartilhar, analisar e discutir modelos 3D CAD, além de promover desafios de design, grupos de interesse e aprendizado de habilidades técnicas, conectando profissionais para colaboração e aprendizado mútuo.

A fabricação foi realizada utilizando manufatura aditiva por Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM), com um foco na escolha de materiais acessíveis e de fácil processamento. O material predominante foi o PLA (ácido polilático), um polímero biodegradável derivado de fontes renováveis como o amido de milho, conhecido por sua biocompatibilidade, facilidade de impressão 3D e menor impacto ambiental em comparação com plásticos tradicionais. Além do PLA, foram utilizados cordões encerados de 1mm para os cabos de transmissão de força.

O design inovador utiliza um mecanismo de duas polias para amplificar a força de atuação, permitindo que movimentos do coto do usuário (parte ou todo o carpo) atuem nos dedos, possibilitando movimentos básicos como pinçar e agarrar.

Os resultados da simulação indicam que o material utilizado na impressão 3D das peças é capaz de suportar as forças aplicadas durante o uso típico, com uma tensão máxima inferior ao limite de escoamento do material.

Nos testes práticos mostrou que a capacidade da prótese de agarrar objetos cilíndricos de vários tamanhos foi adequada, porém verificou-se limitações com

objetos mais pesados devido ao deslizamento, o que aponta para oportunidades de melhoria no design e na escolha de materiais para otimizar a aderência.

O estudo concluiu que os resultados representaram uma solução promissora e bastante acessível para amputados de membros superiores, demonstrando o potencial da inovação frugal na criação de dispositivos funcionais e de baixo custo.

O uso de materiais como o PLA e um design mecânico eficiente contribui para a viabilidade e a sustentabilidade da solução. Trabalhos futuros devem se concentrar em testes com usuários amputados e na exploração de materiais alternativos para aprimorar a durabilidade e o desempenho da prótese.

- Filtro de Água com Carvão Ativado de Coco

Este estudo explorou o desenvolvimento de um filtro de purificação de água usando carvão ativado derivado de cascas de coco verde. O objetivo é criar uma alternativa sustentável e economicamente viável para a purificação da água. Cascas de coco, que constituem uma parte significativa do lixo das praias no Brasil, foram usadas como o material primário para a produção do carvão ativado. O material resultante exibiu boa estabilidade térmica e uma estrutura porosa. O estudo avaliou a eficácia do carvão ativado como um meio de purificação de água, avaliando a vazão do purificador e a qualidade da água antes e depois da filtração, com foco nos níveis de turbidez, dureza e amônia.

Os testes de purificação revelaram reduções significativas nos níveis de amônia, dureza e turbidez, com reduções de aproximadamente 43%, 8% e 45%, respectivamente. Esses resultados sugerem que as cascas de coco verde podem ser uma alternativa viável para a produção de materiais de filtração, abordando assim tanto a gestão de resíduos quanto as necessidades de purificação de água. O método utilizado para produzir carvão ativado rendeu aproximadamente 30% em massa, o que é comparável a outros carvões ativados derivados de resíduos vegetais.

O estudo conclui que o carvão ativado produzido a partir de resíduos de casca de coco verde é um complemento eficiente para o tratamento de água para consumo humano. Esta abordagem oferece uma solução ambientalmente correta, socialmente equitativa e economicamente viável.

- Protótipo de Incubadora neonatal possibilidades de Transformação em Produto de Baixo Custo (PUC-Minas)

O projeto apresentou uma proposta de protótipo de Incubadora Neonatal Multissensorial, com o objetivo inicial de melhorar o aprendizado de estudantes de Medicina e outras áreas da saúde, mas pode contribuir para a redução do déficit de incubadoras no Brasil.

O projeto visa criar um ambiente de simulação realista para fins acadêmicos e um equipamento de baixo custo, eficiente e confiável para uso hospitalar em regiões de população vulnerável. A pesquisa foi desenvolvida de forma multidisciplinar, integrando conhecimentos de alunos e professores dos cursos de Medicina e Ciência da Computação da PUC Minas. O protótipo aproveitou os recursos e funcionalidades de simulação oferecidos pelo robô-manequim, que permitiu a criação de cenários clínicos complexos e o monitoramento de diversos parâmetros fisiológicos.

Do ponto de vista do hardware, a incubadora é baseada em sensores, sistemas embarcados de baixo custo (como Arduino e Raspberry Pi) e câmeras IP para monitoramento à distância, integrando conceitos de telemedicina. A plataforma de sensores incluiu sensores de frequência cardíaca, temperatura corporal e ambiente, presença de gases tóxicos e uma célula de carga para medição do peso corporal.

Os resultados preliminares dos testes indicaram um grande potencial da incubadora e para o desenvolvimento de um equipamento para uso hospitalar. O protótipo abordou os problemas estruturais das incubadoras neonatais, como o número insuficiente de equipamentos e a falta de mecanismos tecnológicos sensoriais para o monitoramento efetivo das condições ambientais.

- Sistema de Irrigação por Gotejamento com Garrafas PET (UFBA)

Em diversos locais do Brasil, o meio ambiente não é muito favorável a quaisquer iniciativas agrícolas, mesmo assim milhares de famílias fazem algo que pode ser nomeado como agricultura de sobrevivência.

Para exemplificar, no sertão baiano, 80% das hortas familiares dependem de chuva (EMBRAPA, 2022), pois não tem acesso a outras fontes de água.

Olhando para essa realidade, a Universidade Federal da Bahia desenvolveu um sistema que usa resíduos urbanos para irrigação. Com materiais como garrafas PET de 5L suspensas em estruturas de bambu e mangueiras de soro hospitalar furadas com agulhas consegue proporcionar uma vazão de 1 litro por hora, para regular a pressão (por gravidade), faz uso de válvulas de pneus velhos, o custo ficou baixíssimo com cerca de cinquenta centavos por metro linear. Porém o impacto para as culturas agrícolas, medidas pelo projeto por 18 meses em áreas de pequenos agricultores familiares na cidade de Juazeiro mostraram um aumento de 30 % na colheita de feijão e mandioca. Sem contar com a melhoria na qualidade de vida dessas famílias pois antes gastavam mais de 8 horas semanalmente carregando água.

- **Formulação de Tinta de Impressão a Partir de Óleo Residual de Fritura**

O descarte inadequado de óleos e gorduras residuais é um problema recorrente em todas as cidades brasileiras, este projeto propôs uma solução para valorizar este resíduo: a produção de tintas de impressão. O descarte incorreto deste material causa sérios problemas ambientais e econômicos, entupindo esgotos e contaminando a água. A reciclagem desses materiais é, portanto, crucial.

Foi realizado polimerização de óleo residual de fritura (aquecido a 315 °C na presença de acetato de níquel) para obter um polímero viscoso. Os polímeros obtidos foram utilizados como veículo (resina) na formulação de tintas de impressão, juntamente com carbonato de cálcio e diversos pigmentos.

As tintas produzidas foram testadas na impressão de gravuras pela técnica de xilogravura. Os resultados mostraram que as tintas formuladas com o polímero derivado do óleo residual de fritura apresentaram desempenho semelhante ao de tintas comerciais. A utilização do óleo usado como matéria-prima para tintas de impressão se mostrou, portanto, uma alternativa promissora.

A obtenção de tintas de impressão com materiais descartáveis pode ser um fator decisivo para viabilizar economicamente a reciclagem destes resíduos, conferindo sustentabilidade ao processo. O preço médio das tintas offset é significativamente maior do que o de produtos como sabão ou biodiesel, o que torna a produção de tintas mais atraente economicamente.

O estudo conclui que a preparação de tintas de impressão é uma alternativa tecnológica interessante para a reciclagem destes resíduos. A obtenção de um produto com alto valor agregado poderá tornar sustentável toda uma cadeia produtiva, gerando renda e diminuindo o impacto ambiental do descarte inadequado dos óleos e gorduras residuais.

- Construção de secador solar utilizando materiais recicláveis (UFERSA)

A pesquisa foi desenvolvida por estudantes da pós-graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, e apresentou a construção e análise de um secador solar de baixo custo, desenvolvido a partir de materiais recicláveis como a sucata de janela metálica.

O objetivo era a secagem de alimentos no semiárido nordestino, desenvolvida na própria cidade sede da universidade, Mossoró/RN. O protótipo utilizou a energia solar para desidratar frutas como abacaxi, banana, maçã e tomate, reduzindo seu teor de água para menos de 25%, conforme exigido pela ANVISA.

O secador demonstrou eficiência em testes, alcançando perdas de massa de água superiores a 75% em 5 horas de exposição, com temperaturas internas entre 45°C e 60°C. Além de ser uma solução sustentável e acessível para pequenos produtores rurais, o secador solar mostrou-se competitivo em custo de cento e vinte reais, no ano de 2021, muito mais barato se comparado a modelos elétricos comerciais.

A produção deste secador solar construído quase que inteiramente por materiais descartáveis não mostra apenas uma alternativa aos similares vendidos comercialmente, mas possibilita uma real geração de emprego e renda para comunidades carentes, sem contar com a redução do desperdício produção de pequenos produtores rurais em locais com severa precariedade de energia elétrica.

Se contar com a possibilidade da secagem de outros produtos, como, peixes, carnes. O trabalho também se destacou não só pela importância da tecnologia para reduzir desperdícios e agregar valor aos produtos agrícolas, mas também no reuso de materiais que seriam certamente descartados e ainda mais pelo custo final do equipamento. E o significativo impacto na qualidade de vida de comunidades menos favorecidas.

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa de natureza exploratória e explicativa, com foco na análise dos elementos de inovação frugal presentes no projeto do triciclo elétrico desenvolvido pela equipe do LabRAC/FAU/UnB. Essa abordagem possibilita compreender em profundidade os processos, estratégias e resultados da iniciativa, sobretudo em razão das especificidades contextuais e sociais que caracterizam a inovação frugal.

A escolha por uma metodologia qualitativa justifica-se pela necessidade de captar percepções, significados e dinâmicas que dificilmente seriam reveladas por técnicas quantitativas. Já o caráter explicativo da pesquisa busca não apenas descrever os fenômenos observados, mas compreender as relações causais envolvidas, identificando fatores facilitadores e limitantes na implementação do projeto.

A pesquisa foi desenvolvida a partir de um estudo de caso, permitindo uma análise aprofundada de uma experiência concreta de inovação frugal na área de mobilidade urbana, no ambiente da Universidade de Brasília. A escolha do caso baseou-se em critérios como: aplicação de princípios de inovação frugal em contexto acadêmico; participação de usuários e profissionais locais no processo; objetivos voltados à acessibilidade e sustentabilidade; impacto social mensurável; e disponibilidade de dados sobre as diferentes etapas do projeto.

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, observação participante, análise documental e registro fotográfico e audiovisual. As entrevistas contemplaram coordenadores, técnicos, usuários e parceiros envolvidos, com o objetivo de captar suas experiências, avaliações e percepções. A observação participante incluiu visitas aos espaços de desenvolvimento, fabricação e uso do triciclo, com acompanhamento direto das etapas do projeto e participação da pesquisadora em diferentes fases. Essa imersão permitiu captar aspectos não verbalizados e obter uma compreensão mais ampla das interações sociais e do contexto físico do projeto.

Complementarmente, foram analisados documentos diversos, como relatórios técnicos, projetos, atas de reuniões e registros visuais, que contribuíram para a reconstrução do percurso do projeto e para a identificação das estratégias adotadas. As imagens e vídeos coletados também ofereceram subsídios para uma leitura mais rica dos aspectos técnicos, sociais e ambientais envolvidos.

A análise dos dados foi conduzida com base em técnicas de análise de conteúdo e análise temática, de forma a organizar e interpretar os materiais em categorias relacionadas à inovação frugal, como: adaptação de materiais, economia de recursos, sustentabilidade, participação comunitária e impacto social. A triangulação entre as diferentes fontes de dados buscou assegurar a consistência e a profundidade da interpretação, sendo os resultados discutidos à luz da literatura especializada.

Por fim, todos os procedimentos seguiram os princípios éticos da pesquisa científica, incluindo o consentimento livre e esclarecido dos participantes, a garantia de confidencialidade e o respeito às informações sensíveis. A metodologia proposta, ao articular diferentes estratégias de coleta e análise, visa oferecer um quadro abrangente e rigoroso sobre como os princípios da inovação frugal foram incorporados ao projeto, contribuindo para a reflexão sobre o papel da universidade no desenvolvimento de soluções acessíveis e sustentáveis.

5. ESTUDO DE CASO

5.1. O Projeto

O projeto teve como propósito desenvolver, construir e testar um triciclo elétrico assistido por pedal, apresentando uma alternativa sustentável e eficiente de mobilidade individual voltada ao uso em ciclovias do Distrito Federal. Em um contexto de intensas transformações urbanas, acentuadas no período da pandemia, a iniciativa buscou responder à crescente demanda por meios de transporte seguros, acessíveis e ambientalmente responsáveis. O triciclo resultante uniu inovação tecnológica e sustentabilidade, destacando-se por um design funcional, cabine adaptada ao clima do Planalto Central e sistema de assistência elétrica alimentado por baterias recarregáveis, seja por meio de painéis solares, seja por fonte elétrica convencional.

O projeto deste triciclo se alinhou com uma vertente de consumo alternativa e proposital, valorizando o que os autores chamam de "valor de utilização" (em contraste com o valor de uso ou valor de troca), que se concentra na forma como a mercadoria é efetivamente utilizada e subvertida em seu "domínio de uso".

A viabilidade do triciclo ecoT como parte da criação de um possível sistema de compartilhamento no Distrito Federal dependerá de testes de aceitabilidade social e

da integração dos valores de uso coletivo para desenvolver uma extensão desse projeto no futuro e até mesmo alimentar mais estudos sobre esse tema.

Este projeto buscou não apenas desenvolver uma solução de mobilidade sustentável como objeto principal, mas também provar a viabilidade da pesquisa acadêmica em um contexto de recursos financeiros, de profissionais e temporais limitados, onde a Inovação Frugal se manifestou e foi percebida como um fator decisivo para a sua concretização

O projeto foi ancorado na Inovação Frugal, transcendendo a mera otimização de custos. Foi um posicionamento como uma intervenção social e tecnológica que pode ser analisada à luz de teorias que abordam a complexa relação entre o indivíduo, os artefatos e a sociedade, como a Consumer Culture Theory (CCT) e a Transformative Consumer Research (TCR). Estas teorias, abordadas no capítulo 3, forneceram o arcabouço necessário para compreender como a inovação frugal ajudou a estimular estes novos modelos, pensando em um consumo que fomenta o bem-estar e na promoção da cultura de uso compartilhado (time-share) junto ao desenvolvimento do triciclo. Além disso é um exemplo prático de uma solução orientada para a TCR e a Inovação Sustentável, pois busca gerar valor comercial e social e promover a inclusão.

Voltando à concepção técnica, objeto primeiro do projeto, foi adotada a configuração com duas rodas dianteiras e uma traseira, priorizando estabilidade, segurança e conforto ao usuário. As etapas do desenvolvimento envolveram pesquisa bibliográfica sobre mobilidade urbana e veículos alternativos, elaboração do projeto executivo considerando aspectos ergonômicos e mecânicos, construção de modelos preliminares e de um protótipo funcional, além da realização de testes operacionais no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB). Os testes permitiram verificar a viabilidade técnica e funcional do veículo em ambiente controlado.

A motivação principal para o desenvolvimento do projeto decorreu de dados fornecidos pela SECOM/UnB, que apontam uma circulação diária de cerca de 50.000 pessoas no campus Darcy Ribeiro, o que, potencialmente, permitiria que até 5% desse público – aproximadamente 2.500 pessoas – fosse beneficiado por veículos com essas características. Tal estimativa reforçou o potencial impacto positivo da proposta, tanto no que se refere à qualidade de vida e economia para os usuários, quanto na contribuição para a mobilidade urbana sustentável.

A partir desses fundamentos, o projeto buscou promover conforto, segurança e baixo impacto ambiental, por meio da criação de um veículo leve, eficiente e adaptável. As atividades realizadas incluíram a análise de viabilidade técnica e ergonômica, a construção do protótipo com integração dos sistemas de motorização e segurança, a realização de testes com usuários, e a sistematização dos resultados. Com base nas observações obtidas na primeira versão funcional, deu-se início ao planejamento de uma segunda versão aprimorada, incorporando os feedbacks colhidos ao longo do projeto.

5.2. Fases do Projeto e impacto da Inovação Frugal

Inspirado pelos princípios de inovação frugal propostos por Navi Radjou (2012) em *Jugaad Innovation*, o projeto incorporou estratégias como a superação de adversidades, uso racional de recursos, flexibilidade metodológica, simplificação de processos, inclusão de novos atores e atuação orientada por valores éticos. Tais diretrizes não apenas orientaram a execução da pesquisa, como foram determinantes para sua viabilidade e êxito.

5.2.1. Reestruturação da Equipe

O primeiro grande obstáculo surgiu com a desistência da equipe técnica e a saída inesperada do coordenador original, que aceitou convite para realizar estágio pós-doutoral no exterior. Sem equipe e sem projeto técnico, a continuidade da iniciativa foi colocada em risco.

O novo coordenador do projeto, Prof. Dr. João Pantoja, identificou potencial transformador na crise: reconstruiu a equipe com base em um perfil multidisciplinar, incorporando profissionais de diferentes áreas do conhecimento. Essa diversidade foi essencial para ampliar a abordagem metodológica do projeto, permitindo que a inovação ocorresse em um modelo não hierarquizado, mais horizontal, colaborativo e aderente ao contexto real da execução.

O próprio coordenador, com experiência consolidada na engenharia civil e no mercado, contribuiu com rigor técnico e visão sistêmica, sendo elemento catalisador da criatividade e coesão da nova equipe.

A Superação de Crises é uma das características de uma mentalidade frugal. O projeto enfrentou este obstáculo inicial da desistência da equipe técnica e a saída do coordenador original.

Abaixo a nova equipe:

Equipe do Projeto

João da Costa Pantoja – Coordenador

Professor Adjunto da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (FAU/UnB), atua no Departamento de Tecnologia na área de Estruturas desde 2014.

- Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília (1991)
- Mestre em Estruturas e Construção Civil (UnB, 2003)
- Doutor em Estruturas pela PUC-Rio (2012), com estágio na University of Illinois at Urbana-Champaign (EUA)
- Pós-doutor pela Universidade do Porto – FEUP (2018)

Valmor Cerqueira Pazos

Técnico de Laboratório da UnB e professor da Escola Técnica de Brasília. Coordena tecnicamente o curso de pós-graduação a distância em Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística da UnB. Já atuou como coordenador de Inovações Tecnológicas da ETB.

- Mestre em Desenvolvimento Profissional e Educação (UnB, 2023)
- Especialista em Informática na Educação (UFLA, 2006)
- Licenciado em Informática (UniCEUB, 2004)
- Bacharel em Ciência da Computação (FIPLAC, 2001)

Luiz Roberto da Cunha Freitas Jr.

Diretor de projetos e novos negócios na Quantec Brasil Geociências e presidente da Associação Brasil Melhor. Possui ampla experiência em Geociências e gestão de projetos multidisciplinares.

- Geólogo pela Universidade de Brasília (1994)
- Especialista em Gerência de Projetos (UDF/Cruzeiro do Sul)

- Pós-lato sensu em Negócios Disruptivos (IESB)
- Mestrando na FAU/UnB

Luísa Bueno Brito

Engenheira Mecatrônica pela Universidade de Brasília, é presidente do Centro Acadêmico do curso. Atuou como estagiária no Laboratório Aberto de Brasília (LAB) e na Airbus Defence and Space (Alemanha), além de projetista na ESC Escape Room e instrutora de robótica na Robotclub. Ex-presidente e atual secretária da EMBS-UnB (capítulo estudantil da IEEE voltado à Engenharia Biomédica).

Lenildo Santos da Silva

Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB. Atua na área de estruturas de concreto armado e metálicas.

- Engenheiro Civil (UFMT, 1994)
- Mestre em Estruturas e Construção Civil (UnB, 1997)
- Doutor em Geotecnia (UnB, 2003)

Atualmente coordena projeto de monitoramento e análise estrutural do edifício do INCRA, com uso de sensores e inteligência artificial (deep learning), em parceria com o próprio INCRA.

Arthur Lauro

Engenheiro Mecânico pela UnB, com vivência internacional na Alemanha, onde aprofundou estudos em turbomaquinária e energias renováveis. Participou de projetos como Netzero (plantas de pirólise) e Origem (motos elétricas). Atua com P&D, design e manufatura, com domínio em CAD (SolidWorks, AutoCAD, Revit), FEA (Ansys), prototipagem e manufatura enxuta. Integra experiências em equipes como Fórmula SAE e Baja SAE.

Luana Cristina Wouk

Professora Adjunta do Instituto de Física da UnB. Atuou como pesquisadora no CSEM Brasil. Tem experiência acadêmica e profissional em Física de Materiais, com ênfase em dispositivos orgânicos e híbridos, como células solares, semicondutores, polímeros e perovskitas.

- Bacharela em Física (UNICENTRO, 2012)
- Mestra em Física (UEL, 2014)

- Doutora em Física (UFPR, 2018), com estágio sanduíche na Linköping University, Suécia (2017)

Observa-se que a equipe foi escolhida não somente pelo conhecimento técnico em suas áreas, mas também pela experiência individual de cada em outros projetos, e na resolução de problemas.

5.2.2. Criação de novo plano de projeto: Revisão Bibliográfica, Design inicial e logomarca

Outro obstáculo enfrentado foi a ausência de um projeto técnico inicial, a nova equipe optou então por diretrizes baseadas em sustentabilidade, leveza estrutural e segurança. Técnicas associadas a inovação frugal como a bricolagem e a flexibilidade metodológica, associadas a uma estratégia de simplificação aplicada ao design estrutural e ao processo de montagem manual foi determinante para superar os desafios impostos pelas restrições de tempo e orçamento, reforçando a mentalidade de "fazer mais com menos".

Para o desenvolvimento do novo projeto, a etapa inicial da pesquisa consistiu em uma revisão sistemática da literatura e levantamento do estado da arte sobre modelos de triciclos e tecnologias voltadas à mobilidade sustentável. Foram analisados estudos, trabalhos e artigos relacionados ao design ergonômico, eficiência energética e inovação em veículos de propulsão elétrica e assistida por pedal, os quais fundamentaram conceitualmente o desenvolvimento do protótipo.

A revisão não focou em uma solução inédita globalmente, mas sim a adaptação de modelos comprovados. Ao fim, o projeto ecoT foi inspirado, principalmente, no projeto TREC (Trike Electric Commuter), desenvolvido na Universidade de KwaZulu-Natal, África do Sul.

Aqui a inovação frugal foi fundamental para o projeto através da recombinação tecnológica e da inovação aberta, com a inspiração no TREC permitindo acelerar a fase de concepção e diminuir o custo do processo de inovação, utilizando o conhecimento de um projeto internacional já validado em um contexto com desafios socioeconômicos similares. No entanto, foi crucial realizar adaptações às condições topográficas, técnicas e econômicas locais do Distrito Federal.

Após a review do Projeto TREC e discussões em diversas reuniões da equipe, gerou-se a ideia inicial do triciclo do presente projeto. A Figura 1 ilustra os modelos de sketches desenvolvidos e o escolhido. Para chegar a um design final de como ficaria a aparência do triciclo, criou-se o conceito de arte, uma descrição geral do modelo, inspiração e uma Line, a fim de que, com ajuda de uma IA, fosse gerado o modelo final e próximo do real de como ficaria o triciclo.

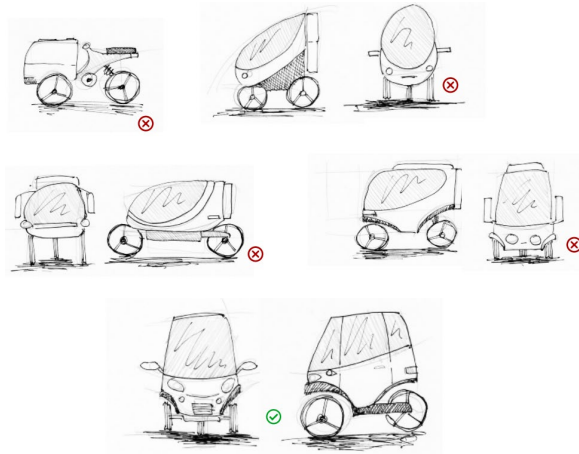


Figura 1 – Ideias de Sketches para o design do triciclo, sinalizando os rejeitados e o escolhido.

A descrição geral, por sua vez, foi imaginar um triciclo elétrico invertido do futuro, com dois pneus na frente e uma atrás, em que o design devesse evocar uma sensação de modernidade, inovação e sofisticação. A inspiração se deu em veículos conceituais de filmes de ficção científica, carros esportivos de luxo, e a simplicidade e funcionalidade dos produtos de tecnologia moderna.

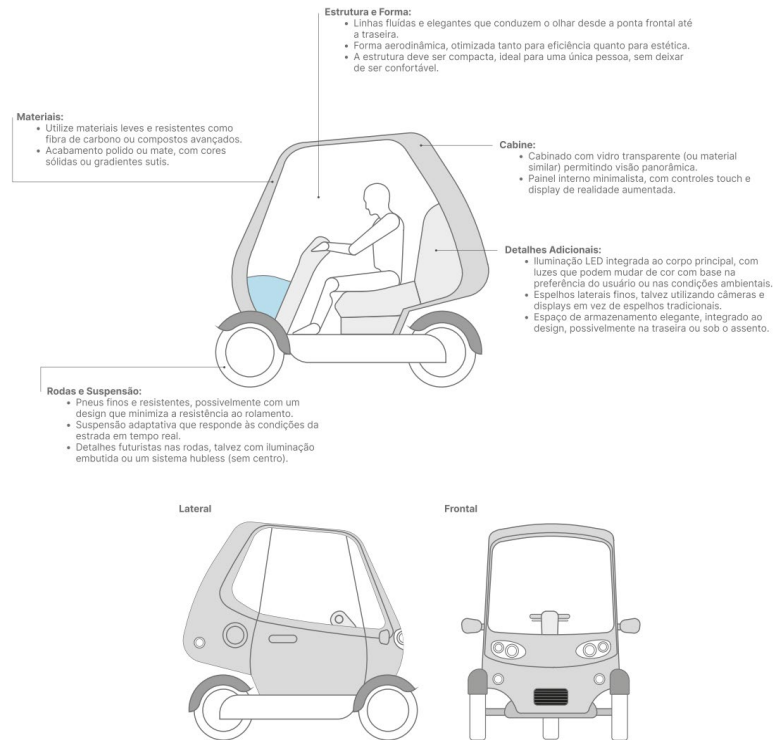


Figura 2– Ideia conceitual do triciclo

5.2.3. Identidade Visual do projeto

A marca desenvolvida teve como objetivo destacar a agilidade e versatilidade como elementos-chave para a mobilidade urbana em grandes cidades. A ideia que o veículo buscava promover a economia, inovação e aprimorar a qualidade de vida dos usuários.

Assim foi definida a marca "ecoT" que perseguiu o mesmo objetivo do projeto, a busca de um veículo simples, mas inovador.

Nos desenhos iniciais do triciclo elétrico pedal assistido "ecoT", tentavam inspirar uma mudança significativa nas dinâmicas urbanas ao unir agilidade, versatilidade e sustentabilidade, na sua intenção, pelo menos.

Assim a marca "ecoT" teve como objetivo ligar com algumas palavras-chave: ecologia, economia, tecnologia, eletricidade, conectividade e é claro o mais óbvio, Triciclo. Foi uma declaração visual de com o compromisso com a transformação da forma de transporte urbano que poderia se tornar mais viável e econômico.

Assim, a criação da marca "ecoT", apresentada na Figura 6, não foi apenas um exercício de design industrial; o desejo é principalmente demonstrar a ideia de simplicidade e sustentabilidade desse novo meio de transporte que será capaz de

levar pessoas e pequenas cargas através de ambientes urbanos, buscando contornar todos os principais problemas relacionados, principalmente, relacionados ao espaço e ao tempo. Conseguindo reduzir o tempo de traslado e a ausência de locais para estacionar, e o resultado disso é mais qualidade de vida para os usuários.



Figura 3 – Aplicação da Identidade Visual em Cores com identificação da tipografia utilizada

5.2.4. Construção dos protótipos

A equipe teve que lidar também com a redução do cronograma e o impacto da inflação brasileira sobre os recursos disponíveis, condições condizentes com a inovação frugal. Com isso optou-se por utilizar materiais acessíveis, leves e de fácil manuseio. Inicialmente foi considerado a fibra de vidro para o fechamento da gaiola, porém a escolha de folhas de PVC, se mostrou ambientalmente mais favorável. O material da carenagem com placas de 2 mm de espessura de polipropileno (PP), de baixo valor econômico, facilidade de aquisição e por ser reciclável.

O uso de materiais de baixo valor intrínseco (como o PP) contribuiu para o valor final reduzido do veículo, além de economia de recursos e, conseqüentemente, para o desinteresse em caso de roubo, um benefício social relevante.

O impacto da inovação frugal não foi apenas no material, a equipe também simplificou o desenho inicial, que previa o transporte de pequenas cargas, para focar nas necessidades reais de locomoção e financeiras dos usuários, como alunos excluídos.

Assim o objetivo primeiro do projeto foi desviado para a sua função mais central (mobilidade individual assistida), eliminando custos e complexidades associadas à capacidade de carga excessiva.

5.2.5. Protótipo V.0

Diante destes obstáculos, a nova equipe optou por adotar diretrizes baseadas na sustentabilidade, leveza estrutural, segurança e compatibilidade com a infraestrutura cicloviária do Distrito Federal. Além disso, estabeleceu-se desde o início que o veículo deveria ser híbrido, combinando propulsão elétrica e pedal assistido.

E a partir dos estudos realizados em soluções existentes iniciou-se a fase do primeiro protótipo funcional do triciclo. Com o uso de um modelo tipo “girino” para sua estrutura. E para a motorização que foi calculada através das relações peso x potência optou-se pela construção com apenas um motor traseiro. Posteriormente, de maneira incremental, pensou-se até na adição de motores dianteiros, em versões futuras.

- Motor traseiro 1000w;
- Controlador de velocidade para motor brushless de 48v e 30ª;
- Manete corta corrente;
- Acelerador de dedão;
- Bateria de Lithium polímero de 48v e 20 Ah;

No sistema de frenagem, naquele momento foi definido hidráulico também foi incorporado em um primeiro momento apenas na roda traseira e possui as seguintes características:

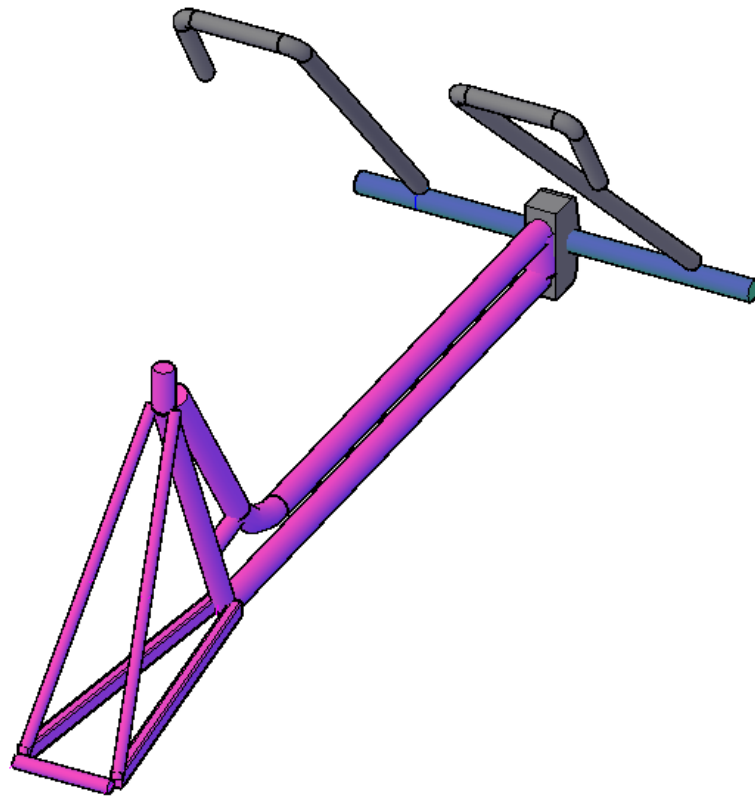
- Sistema hidráulico com mangueira SM-BH-90;
- Presilhas B01S;
- Discos de 160 mm com 6 parafusos;
- Pinças e suportes para adaptações necessárias ao triciclo em desenvolvimento;
- Arruela usinada para o projeto especificamente.

Abaixo o diagrama de blocos, inicial, com as principais fases de projeto e construção do triciclo na sua versão 0.

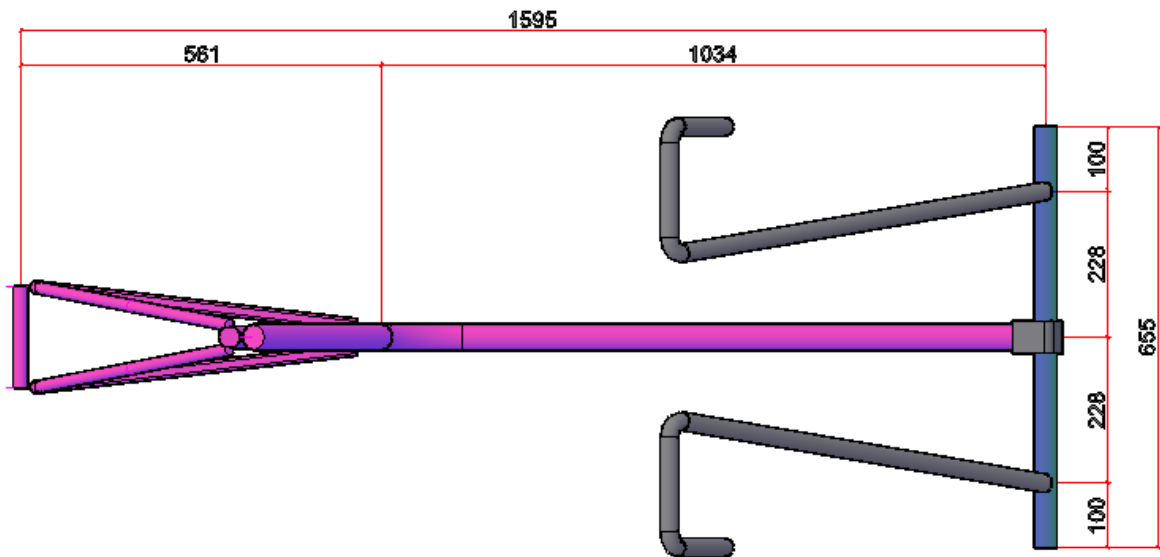


Diagrama de blocos da construção triciclo V.0

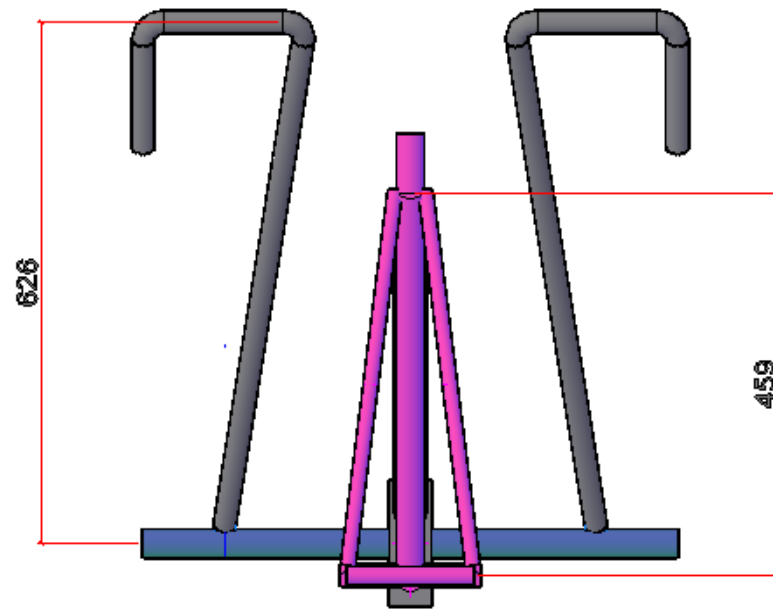
Abaixo o projeto do chassi do triciclo. Na Figura 15 está apresentada a segunda versão do guidão, que teve que ser refeito por não ter ficado muito adequado quanto as dimensões e ergonomia.



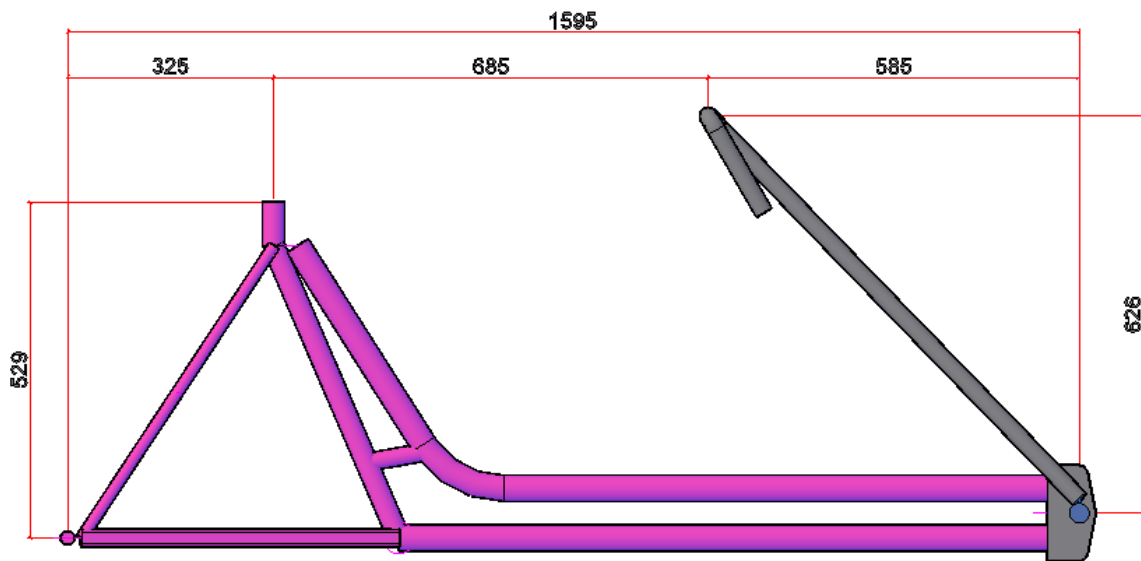
Vista do Modelo 3D do projeto do chassi V 0, com a primeira versão do guidão.



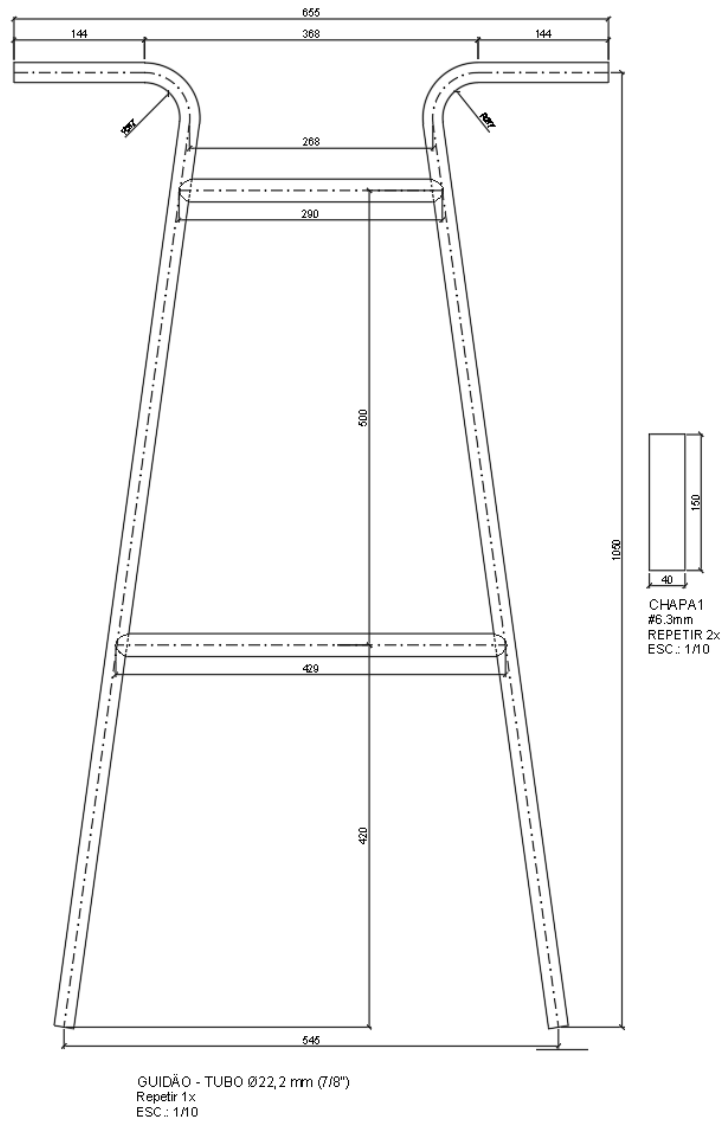
Vista Superior do chassi projetado V0, com suas dimensões



Vista Frontal do chassi projetado V0.

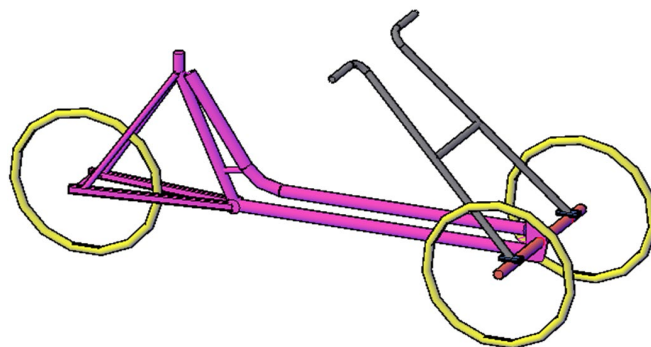


Vista Lateral do chassi projetado V1.0.



Projeto de fabricação da segunda versão do guidão – V0.

As Figuras abaixo mostram o chassi projetado com as rodas e com e com o segundo guião construído, respectivamente, já com as rodas.



Projeto do triciclo com as rodas e novo guidão – V0.

Assim definido o chassi e o guidão, ambos foram construídos e montados, posteriormente os sistemas eletrônicos foram instalados e a primeira versão tornou-se pronta para os testes iniciais.



Vista 1 da Versão 0 do triciclo construído



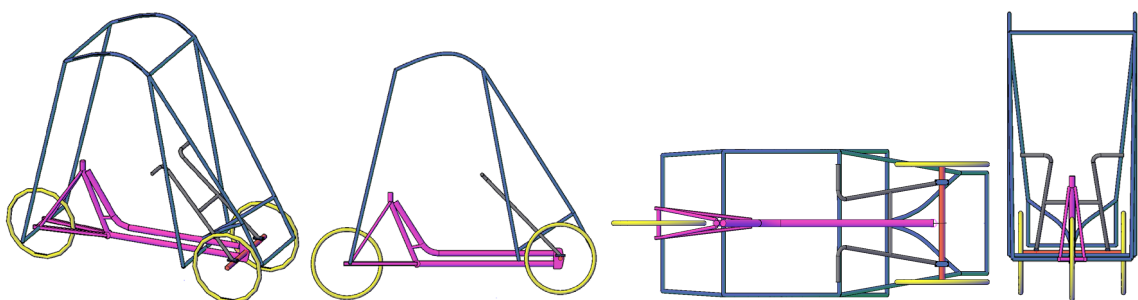
Vista 2 da Versão 0 do triciclo construído

A Figura abaixo é um print extraído do vídeo do primeiro teste funcional do triciclo na FAU/UnB, testando ergonomia, desempenho e dirigibilidade.



Primeiro teste da Versão 0 do triciclo construído

Para a construção da gaiola, a qual foi construída primeiro em varetas de fibra de vidro para calibrar as dimensões do protótipo para só então ser construída com tubos metálicos. As figuras a seguir mostram o projeto da gaiola.



Modelos 3D do triciclo com a gaiola do triciclo V0 com sua visão lateral, superior e frontal.

Nesta primeira versão estava sendo definido outras características do veículo, como sensores e outros quesitos de segurança.

Que eram:

No âmbito do projeto de construção para este triciclo híbrido de baixo custo, a equipe enxergou a oportunidade de elevar a segurança e autonomia do veículo por

meio da implementação de um sistema avançado de sensores e controle. Nesse contexto, a proposta inicial era a utilização de tecnologias acessíveis e eficientes, considerando também a opção de câmeras, visando proporcionar uma experiência de condução mais segura e autônoma.

5.2.6. Segurança

Para a detecção de obstáculos e monitoramento do ambiente, foram consideradas três opções: infravermelho (IR), LIDAR e câmeras. Ambas oferecem vantagens significativas, mas, complicado para manter o custo em patamares baixos, a opção, com custo e benefício, recaiu sobre o uso de sensores de infravermelho. Esses sensores se mostrariam eficazes na detecção de objetos próximos, enquanto a opção de câmeras oferece uma alternativa de monitoramento apenas visual mais abrangente.

Estes sensores de Infravermelho seriam posicionados estrategicamente ao redor do triciclo, esses sensores forneceriam dados em tempo real sobre a distância entre o veículo e objetos nas proximidades, tanto à frente quanto nas laterais. A utilização de múltiplos sensores permitiria uma cobertura abrangente, reduzindo pontos cegos e aumentando a confiabilidade do sistema.

Quanto as câmeras, poderia ser uma opção que seriam integradas para monitoramento visual adicional, especialmente em situações que demandam uma percepção mais ampla do ambiente, em substituição dos espelhos retrovisores convencionais.

Em acréscimo à segurança, foi pensado na versão inicial, a implementação de um sistema de feedback simples, mas eficaz, por meio de um aviso sonoro. À medida que o triciclo se aproximaria de um obstáculo, a frequência do som aumentaria, alertando o condutor sobre a proximidade de potenciais riscos.

E ainda para um incremento na segurança, foi imaginado para as manobras de mudança de faixa, a integração de sensores laterais. Quando o condutor acionasse a seta para indicar uma mudança de direção, o sistema verificaria a segurança da manobra, alertando caso haja algum veículo próximo na faixa desejada.

5.2.7. Central de controle

Para centralizar o processamento dos dados de todos os sensores descritos acima e fornecer feedbacks visuais ao condutor, foi considerado o uso de um Raspberry Pi como computador de bordo. Este dispositivo versátil e de baixo custo será responsável por processar os dados dos sensores, gerenciar os alertas sonoros e exibir informações relevantes ao condutor.

A proposta de integração de sensores de infravermelho, feedback sonoro, e a possibilidade de câmeras, aliada a um computador de bordo Raspberry Pi, criaria um sistema abrangente e acessível para melhorar a segurança e autonomia do triciclo. Esta abordagem não apenas reforçaria a proteção do condutor e passageiro, mas também representa um avanço significativo na viabilidade de soluções autônomas em veículos de custo acessível, considerando a opção de câmeras para um monitoramento visual mais abrangente.

Porém com os obstáculos enfrentados, estes quesitos não foram implementados, mas não desconsiderados, visto que há um desejo da equipe do projeto de dar continuidade ao projeto. Mas as mudanças só foram desconsideradas devido ao olhar da inovação frugal no intuito da real concretização do projeto dentro dos parâmetros de escassez de toda ordem e problemas enfrentados.

6. PROTÓTIPO VERSÃO V1.0

A concepção do *ecoT* foi claramente inspirada no projeto TREC, desenvolvido pela Universidade de KwaZulu-Natal (STUBBS et al., 2018). No entanto, foram necessárias várias adaptações e simplificações às condições técnicas e econômicas ao qual o projeto está inserido. Assim, depois dos testes iniciais e das lições aprendidas, o projeto incorporou essas informações e buscou materiais de baixo impacto ambiental, reafirmando sua adesão às práticas da inovação frugal, para a sua segunda versão, a Versão 1.0.

Todo o processo de desenvolvimento, do início ao fim foi marcado por uma lógica interativa e colaborativa, envolvendo sucessivas etapas de modelagem digital, prototipagem física e validação empírica. As versões 0.0, 1.0 e 2.0 passaram por aprimoramentos significativos em termos de concepção estrutural, eletrificação, carenagem e integração dos sistemas embarcados.

6.1. Estrutura e Materiais

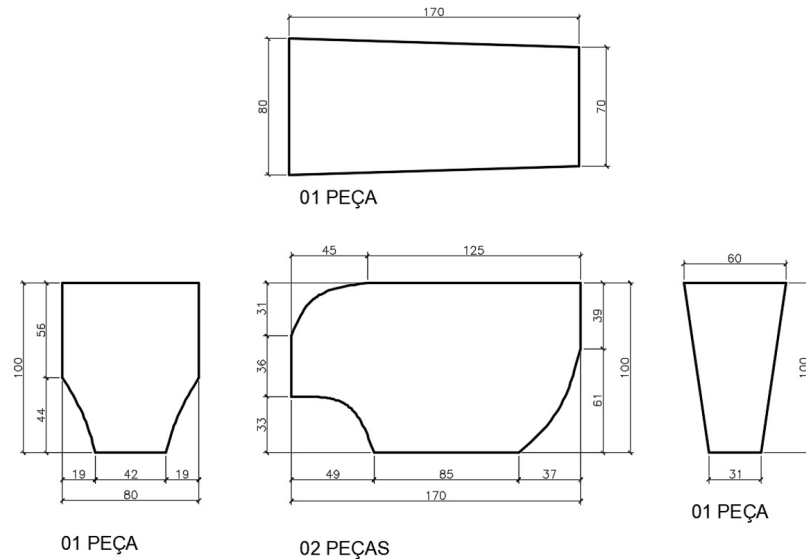
Diante da necessidade de adequar o projeto à nova realidade, a equipe optou por utilizar materiais acessíveis, leves e de fácil manuseio. Nesse contexto, a inovação frugal desempenhou um papel fundamental. A estratégia de simplificação aplicada ao design estrutural, à escolha de materiais e, sobretudo, ao processo de montagem manual, foi determinante para o sucesso do projeto nesta etapa crítica. Sem essa abordagem, seria difícil superar os desafios impostos pelas restrições de tempo e orçamento.

Embora inicialmente se tenha considerado, para a versão 0, a fibra de vidro no fechamento da “gaiola”, mas no fim foi escolhida a opção por folhas de PVC, incorporada na versão 1.0 por ser considerado um material mais inerte ao meio ambiente e de baixo custo.

Mas na última versão (2.0), o material final da carenagem foi polipropileno (PP), em forma de placas de 2 mm de espessura, que se mostraram bem versáteis e mais leves, além de seu baixo valor econômico, facilidade de aquisição e reciclável.

O uso de materiais de baixo valor intrínseco (como o PP) contribuiu para o valor final reduzido do veículo e, conseqüentemente, para o desinteresse em caso de roubo, produzindo um benefício social relevante.

Seguindo então na versão 1.0, onde com algumas modificações o chassi inicial foi aproveitado, acrescentando os cortes nas chapas de PVC para fazer o fechamento da segunda versão.



Projeto do fechamento a ser construídos em chapas de PVC.

No contexto do projeto do triciclo, a construção da Versão 1.0 do protótipo representa um MVP tático. O objetivo primário dessa segunda versão é validar os conceitos iniciais de design e funcionalidade, além dos primeiros testes, integrando os sistemas de motorização e ergonomia, permitindo que a equipe seguisse com mais testes, dessa vez com possíveis usuários finais, obtendo mais informações validados por meio destes testes operacionais e avaliação técnica.

A ênfase desta versão 1.0, ao invés de um produto completo e dispendioso, a ideia é estar em consonância com as características da Inovação Frugal, que propõe o desenvolvimento de soluções simplificadas e de baixo custo e buscando aumentar a viabilidade do projeto e concretizar seus objetivos.

Este modelo tipo “girino”, que serviu desde o início como base para as adaptações necessárias. Este modelo foi escolhido devido às suas características, com duas rodas principais na dianteira e uma roda traseira, proporcionando maior estabilidade em curvas e frenagens.

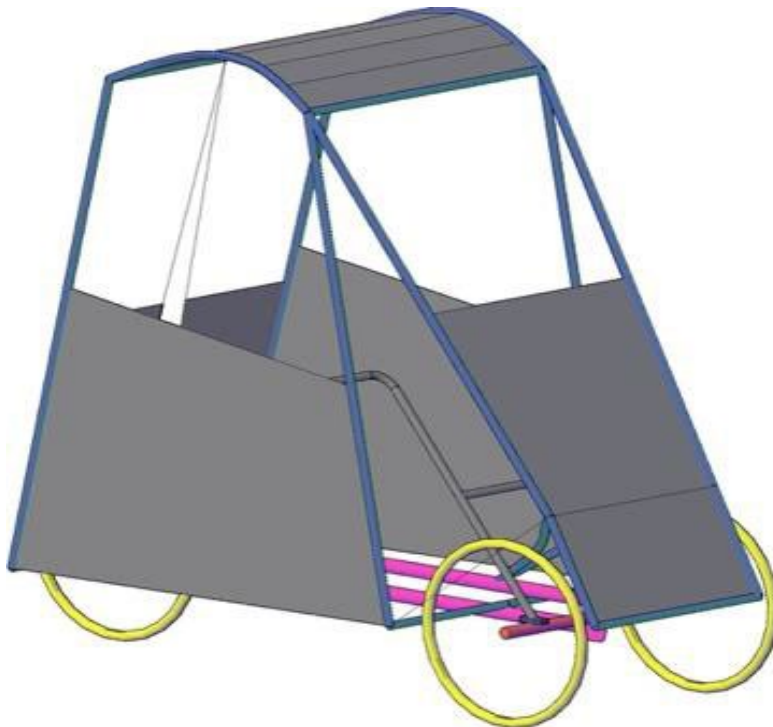
Esta versão foi marcada por escolhas conscientes de materiais e métodos.

Após o desenvolvimento desta segunda versão do triciclo, foram tomadas medidas detalhadas para avaliar novamente suas dimensões e estrutura, a fim de planejar as modificações que forem necessárias. O triciclo foi então remodelado em CAD, com base nas dimensões obtidas pela primeira e segunda bateria de testes.

A estrutura do chassi foi construída com tubos circulares de alumínio de 5 mm de diâmetro, o que além de proporcionar leveza ao protótipo, é um material de fácil manipulação e altamente reciclável.

Mais um outro ponto aderente a inovação frugal foi a opção de fechar a gaiola com folhas de PVC. A escolha se deu pela facilidade de corte e manipulação e a flexibilidade do molde final gerado. Oferecendo maior agilidade no término desse protótipo e mais tempo para os testes, O fechamento da gaiola pode ser exemplificado pelo modelo de CAD visualizado na figura abaixo.

Gaiola com folhas PVC



Fonte: Dados do autor (2025)

Assim esta segunda versão foi construída com algumas modificações quanto a carenagem PVC, esta versão a simplificou bastante, principalmente com o intuito de validação inicial dos conceitos de ergonomia e funcionalidade além de incorporar os

sistemas de motorização elétrica como também um painel solar que permitirá outra forma para carregar as baterias, mesmo com tempo escasso, a equipe do projeto conseguiu montar uma versão um pouco mais completa o suficiente e pronta para a segunda onda de testes.

Versão finalizada da primeira versão do protótipo



Fonte: Dados do autor (2025)

6.2. Motorização e Sistema Elétrico

O sistema de propulsão conta com motor elétrico de 350W, alimentado por bateria de íon-Lítio de 48V e 20Ah, obviamente é um tipo de bateria recarregável, e amplamente utilizada em dispositivos eletrônicos portáteis devido à sua alta densidade de energia e longa vida útil, ou seja, de alta disponibilidade no mercado.

Além dessa vantagem, por ter a densidade mais alta, possui a capacidade de armazenar mais energia em um espaço menor, permitindo ocupar menos espaço no

veículo, e são bem mais leves. Outro aspecto importante é que este tipo de bateria tem uma maior vida útil tendo mais ciclos de carga e descarga em comparação com outras tecnologias de bateria e geralmente recarregam muito mais rapidamente que as baterias encontradas, por exemplo nos veículos comuns e perdem menos carga quando não estão em uso, e o mais importante, são menos nocivas ao meio ambiente.

Na inovação frugal, este é um dos seus principais preceitos: a busca de soluções mais acessíveis, simples e eficientes, e isso certamente passa por buscar recursos locais ou facilmente disponíveis, ficando mais fácil reduzir os custos, e acelerar o desenvolvimento, facilitando a implementação do protótipo, sem contar com menos impacto ao meio ambiente, já que as baterias são menos nocivas e o veículo não emite poluentes.

6.3. Painéis Solares

Diante da escassez de recursos, o coordenador foi buscar dentro da própria UnB, soluções que poderiam não somente a resolução dos problemas e obstáculos encontrados, mas agregar valor real ao projeto. Inovação frugal e sustentabilidade são conceitos que se complementam, sempre na busca por soluções de baixo custo que possam gerar impactos positivos no meio ambiente e na sociedade.

O veículo precisava ser acessível e eficiente, mas no contexto de recursos limitados, a dificuldade era ainda maior. Assim uma docente da Física, Professora Luana Cristina Wouk, que possui vasto conhecimento e pesquisa relacionada a captadores de energia solar, ajudou na escolha de um painel solar flexível, fino e versátil, que permitiu um incremento na autonomia do veículo, com a instalação no teto do triciclo, conectado a um controlador de carga MPPT, que é a sigla em inglês para Maximum Power Point Tracking, um dispositivo inteligente para sistemas solares off-grid que otimiza a energia dos painéis fotovoltaicos para regular e otimizar o carregamento da bateria.

Assim, o uso da energia solar no triciclo elétrico exemplifica uma aplicação prática da inovação frugal.



Painel solar flexível instalado no teto (Dados do autor (2025))



Controlador MPPT e suas conexões

Fonte: Dados do autor (2025)



Imagem do MPPT em condição de operação.

Fonte: Dados do autor (2025)

Essa versão permitiu outros testes e análises além da análise da condução.

- Testes e Análise

A versão 1.0 foi submetida a testes operacionais no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, com possíveis usuários reais, os alunos da instituição. Esses testes permitiram avaliar a estabilidade, segurança, manobrabilidade e

desempenho geral do triciclo em um ambiente controlado. A localização foi escolhida por oferecer condições ideais para análises técnicas e feedback inicial. Seguem os resultados compilados destes testes.

6.4. Tecnologias de painéis solares

O projeto permitiu aos pesquisadores, fazerem uma análise dentro das tecnologias de captação solar existentes, qual seria mais aderente ao projeto.

Os principais tipos de painéis solares disponíveis atualmente incluem células monocristalinas, policristalinas e de película fina (thin film). Cada tecnologia possui características específicas:

Monocristalinas: Oferecem alta eficiência (18-22%) e excelente desempenho em espaços reduzidos. No entanto, são mais caras, o que pode impactar o custo total do projeto.

Policristalinas: Têm eficiência moderada (15-18%) e menor custo, sendo uma opção equilibrada, embora menos eficazes em condições de baixa luminosidade.

Película Fina: São leves e flexíveis, ideais para aplicações onde o design e a adaptabilidade são cruciais. Apresentam eficiência entre 10-12%, mas com custo reduzido.

Para este projeto, a análise priorizou painéis flexíveis devido à sua capacidade de se integrar harmoniosamente à estrutura do veículo sem comprometer sua estética, além dos quesitos pesos e preço. Sempre buscando a praticidade e economicidade, ajudando o projeto a se manter dentro do cronograma apertado.

Comparando entre a eficiência energética, tipo de aplicação e desempenho esperado, entre as tecnologias descritas, neste ponto a equipe avaliou os diferentes painéis solares, dentro destes parâmetros.

A tabela abaixo, sumariza as principais vantagens e desvantagens das tecnologias.

Vantagens e desvantagens

Característica	Monocristalino	Policristalino	Flexível (Película Fina)

Eficiência	Alta (18-22%)	Moderada (15-18%)	Baixa a Moderada (10-12%)
Custo	Alto	Moderado	Baixo a Moderado
Durabilidade	Superior (25+ anos)	Boa (20-25 anos)	Moderada (10-15 anos)
Desempenho Térmico	Excelente	Moderado	Bom
Estética	Elegante (preto)	Tradicional (azul)	Altamente Adaptável
Peso e Flexibilidade	Pesado, rígido	Pesado, rígido	Leve, altamente flexível
Instalação	Requer estrutura fixa	Requer estrutura fixa	Simples, adaptável a superfícies curvas
Aplicação em Espaços Reduzidos	Excelente	Boa	Excelente

Fonte: Dados do autor (2025)

6.5. Estudo de Viabilidade Econômica

Por fim um estudo de custo considerou tanto o preço dos painéis quanto o sistema de suporte, incluindo controladores de carga, baterias e inversores. Os painéis de película fina destacaram-se como os mais viáveis economicamente, oferecendo um equilíbrio entre custo inicial e retorno ao longo do tempo.

A análise comparativa mostrou que, para uma carga típica de 250 W (suficiente para operar o triciclo em trajetos urbanos), os painéis monocristalinos exigiriam um

investimento inicial maior em torno de pelo 2 vezes, além de aumentar o peso do protótipo, e criar obstáculos no design devido a rigidez, enquanto os de película fina proporcionariam maior acessibilidade financeira e facilidade de manutenção.

6.6. Pesquisa de Campo para Avaliação da Aceitabilidade do Triciclo

No contexto de desenvolvimento e aprimoramento de um triciclo, foi realizada uma pesquisa de campo com usuários visando avaliar a aceitabilidade e identificar aspectos críticos para a melhoria do produto. O estudo coletou dados primários dos participantes, incluindo nome, e-mail, idade, altura, peso e sexo. Essas informações permitiram criar um perfil diversificado de usuários e assegurar que a análise contemplasse diferentes características físicas e demográficas, promovendo resultados mais inclusivos e representativos.

Neste período, o projeto se deparou com outro desafio, a Universidade de Brasília passava por uma greve, tanto do corpo docente quanto do seu corpo técnico. Sendo assim poucas pessoas circulavam no Campus universitário. Para chamar a atenção desses poucos transeuntes, nossa equipe fez uso de um criativo artifício. Aqueles dias estavam particularmente quentes, o que trazia mais um complicador. Assim foi oferecido uma recompensa, um guaraná bem gelado, para aqueles que se dispuseram a testar o protótipo. Com isso conseguimos os usuários para efetuar os testes.

Abaixo algumas imagens dos alunos que participaram dos testes e deram suas impressões na primeira versão.

Testes de condução – versão 1.0





Fonte: Dados do autor (2025)

O questionário elaborado incluiu áreas fundamentais relacionadas à utilização do triciclo, com critérios de avaliação baseados em classificações de satisfação, variando entre: Muito Insatisfeito, Insatisfeito, Neutro, Satisfeito e Muito Satisfeito. A seguir, detalham-se os parâmetros avaliados e sua importância para a segurança e aceitação do produto:

- **Conforto:** Este parâmetro foi crucial para garantir a adesão do usuário ao produto, especialmente em viagens prolongadas. Um triciclo confortável reduz a fadiga e melhora a experiência geral, sendo um fator importante para a satisfação.
- **Desempenho do motor:** A eficiência e a potência do motor são diretamente relacionadas à funcionalidade e à adequação do triciclo para diferentes situações, como subidas e longas distâncias.
- **Manobrabilidade (facilidade de manobra):** Triciclos com boa manobrabilidade tornam-se mais acessíveis a diferentes perfis de usuários. Esse fator é essencial para garantir que o produto seja prático em ambientes urbanos e espaços reduzidos.
- **Estabilidade do veículo:** A segurança do usuário depende diretamente da estabilidade do triciclo, especialmente em curvas e terrenos irregulares.
- **Design e Estética:** Além da funcionalidade, o apelo visual do triciclo desempenha um papel importante, visto que está atrelado à identificação do usuário ao produto.
- **Experiência Geral:** Este parâmetro sintetiza a percepção global do usuário sobre o triciclo, considerando todos os aspectos levantados. Ele reflete o sucesso do projeto em atender às expectativas do usuário.
- **Capacidade de frenagem:** Um sistema de frenagem eficaz é indispensável para a segurança. Avaliar esse item garante que o triciclo seja confiável, principalmente em emergências ou em alta velocidade.
- **Visibilidade do condutor:** A visibilidade adequada é fundamental para prevenir acidentes e garantir que o condutor tenha uma visão clara do ambiente ao redor. Esse parâmetro também influencia a sensação de controle e segurança do usuário.

Adicionalmente, o questionário incluiu campos para que os participantes compartilhassem recomendações e descrevessem o que mais gostaram no triciclo. Essas respostas qualitativas forneceram *insights* valiosos para destacar pontos fortes do produto e orientar melhorias específicas.

A pesquisa de campo não apenas validou o projeto do triciclo, mas também ofereceu mais segurança ao processo de desenvolvimento, ao identificar as

expectativas e necessidades dos usuários. Por meio dessa análise detalhada, o produto pode ser ajustado para atender aos padrões de qualidade, funcionalidade e satisfação à proposta apresentada.

Outrossim, todas as respostas coletadas por meio dos formulários foram organizadas em um banco de dados estruturado, permitindo a consolidação das informações obtidas. Esse banco de dados foi submetido a análises estatísticas detalhadas, visando identificar padrões, tendências e correlações entre os parâmetros avaliados. O uso de métodos estatísticos conferiu maior confiabilidade aos resultados, assegurando que as conclusões fossem fundamentadas em evidências robustas. Os detalhes dessas análises e seus desdobramentos serão apresentados nos tópicos subsequentes, fornecendo uma visão clara e fundamentada sobre a aceitação e o desempenho do triciclo.

7. Banco de dados

Para criação do banco de dados foram seguidas as seguintes etapas:

(1) Homogeneização dos dados

Foi realizada uma etapa de limpeza e homogeneização dos dados, com o objetivo de garantir a consistência e compatibilidade entre as variáveis utilizadas na análise. Esse processo envolveu a padronização das unidades e formatos dos valores recebidos, conforme os critérios estabelecidos pelo Sistema Internacional de Unidades (SI).

Por exemplo, medidas de comprimento originalmente fornecidas em diferentes formatos, como "1,78 metros", "1,78m" e "1,780", foram uniformizadas para o formato padrão "1,78". Essa abordagem permite que os dados sejam interpretados de maneira consistente pelo sistema, reduzindo ambiguidades, eliminando redundâncias e assegurando maior precisão nos resultados da análise.

A limpeza e homogeneização são etapas fundamentais para evitar discrepâncias e garantir que os dados estejam devidamente preparados para serem processados e analisados de forma eficaz.

(2) Remoção de duplicadas

Durante o processo de preparação da base de dados, foi identificada a presença de valores duplicados. Essa ocorrência pode resultar em análises enviesadas, uma vez

que os dados repetidos tendem a influenciar indevidamente os resultados, atribuindo maior peso a determinados registros.

Para mitigar esse problema, foi realizada a remoção de um valor duplicado, garantindo que cada registro na base de dados fosse único. Esse procedimento é essencial para preservar a integridade dos dados e assegurar a representatividade das análises subsequentes, evitando distorções que poderiam comprometer a confiabilidade das conclusões. Como resultado, o total de 58 registros foi ajustado para 57 resultados únicos.

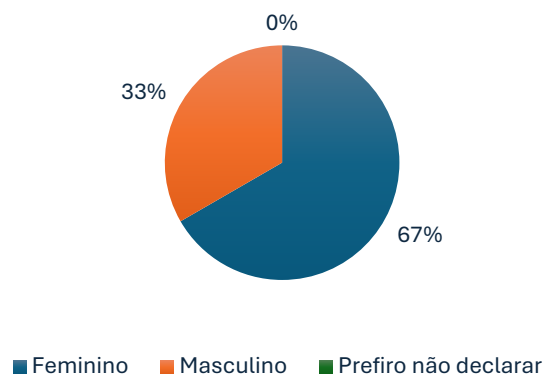
(3) Criação de um identificador (ID)

Criar um identificador único (ID) para cada resposta é uma abordagem que traz organização e rastreabilidade das respostas.

7.1. Análises

Os resultados obtidos culminaram em 57 respostas distintas e detalhadas, refletindo as especificidades de cada experiência do usuário. Como ponto de partida, é relevante analisar os dados primários dos participantes. No que se refere à distribuição de gênero, verificou-se que 67% dos respondentes pertencem ao sexo feminino, enquanto 33% são do sexo masculino, indicando uma predominância de mulheres entre os participantes do estudo.

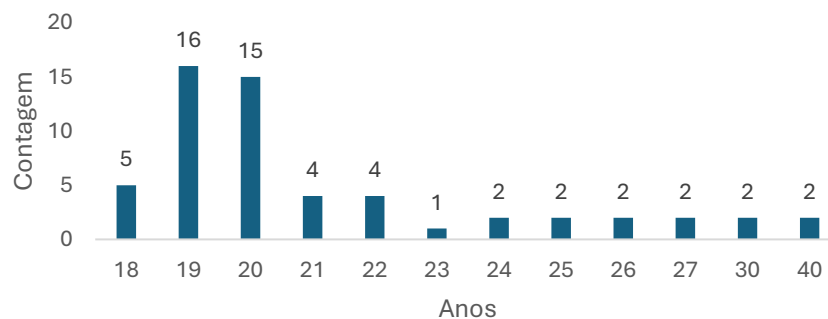
Gráfico 1 - Análise da representação de gênero



Fonte: LabRac

Em se tratando da distribuição etária dos participantes do estudo, destacando a contagem de idades em anos. Observa-se uma predominância de indivíduos na faixa etária de 19 e 20 anos, com 16 e 15 participantes, respectivamente, seguidos pela idade de 18 anos, que contou com 5 respondentes. As demais idades apresentam menor representatividade, com destaque para as idades de 21 e 22 anos, ambas com 4 participantes. Idades superiores a 22 anos possuem uma distribuição mais dispersa, com contagens variando entre 1 e 2 participantes para cada faixa etária. Essa predominância de jovens adultos sugere uma concentração significativa de dados em um público mais jovem, o que pode influenciar as percepções e avaliações do produto analisado.

Gráfico 2 - Análise da representação etária

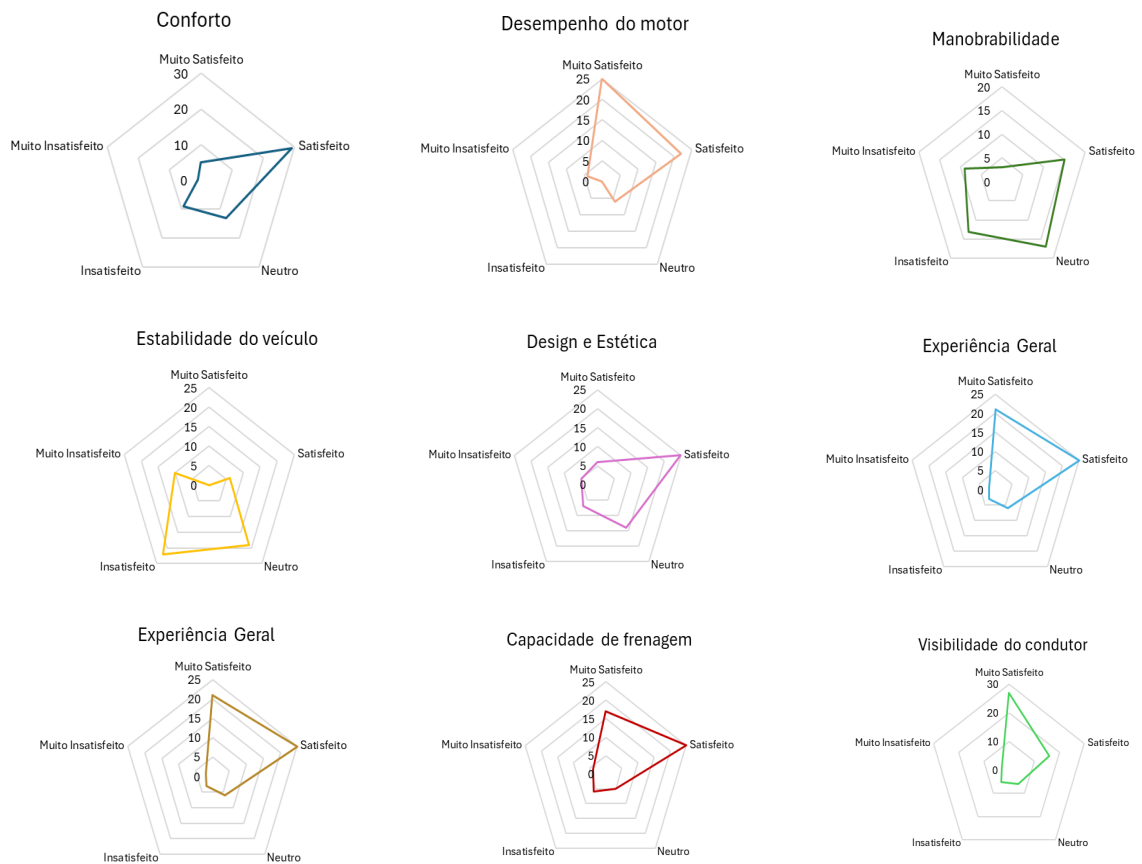


Fonte: Dados do autor (2025)

Para analisar os parâmetros relacionados à utilização do triciclo (*i.e.*, Conforto, Desempenho do motor, Manobrabilidade, Estabilidade do veículo, Design e Estética, Experiência Geral, Capacidade de frenagem e Visibilidade do condutor), foi empregada uma abordagem baseada em critérios de avaliação que variam entre as classificações de Muito Insatisfeito, Insatisfeito, Neutro, Satisfeito e Muito Satisfeito.

Com o intuito de facilitar a interpretação e a comparação entre os níveis de satisfação de todos esses aspectos, utilizou-se o gráfico de radar de forma distinta para cada um dos parâmetros, facilitando a análise pontual.

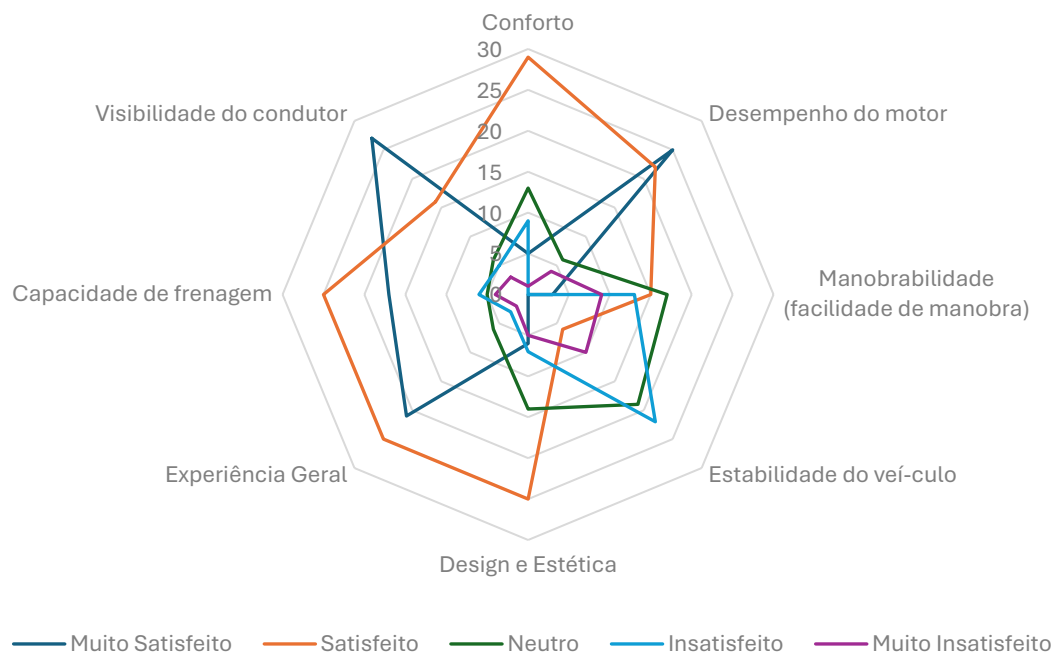
Gráfico 3 - Análise individual dos parâmetros relacionados à utilização do triciclo



Fonte: Dados do autor (2025)

Ainda, sob a mesma proposta de gráfico de radar, analisou-se por meio da representação de todos os parâmetros, na mesma em uma escala comum, permitindo identificar padrões, similaridades ou discrepâncias de forma clara e eficiente. Assim, foi possível compreender melhor a percepção dos usuários em relação às diferentes características do produto, favorecendo uma análise integrada e abrangente.

Gráfico 4 - Análise conjunta dos parâmetros relacionados à utilização do triciclo



Fonte: Dados do autor (2025)

Com base nos dados apresentados, é possível realizar uma análise abrangente sobre os critérios de avaliação relacionados à utilização do triciclo. A seguir, destacam-se os pontos principais:

- **Visibilidade do Condutor:** Este critério apresentou o maior nível de satisfação entre os participantes, com 27 avaliações em "Muito Satisfeito" e 16 em "Satisfeito". Isso sugere que os usuários consideram a visibilidade durante o uso do triciclo um dos aspectos mais positivos, indicando que o design priorizou a segurança e a ergonomia visual.

- **Desempenho do Motor:** Outro ponto de destaque, o desempenho do motor recebeu 25 avaliações como "Muito Satisfeito" e 22 como "Satisfeito". Combinado, esse resultado demonstra que a capacidade do motor atendeu bem às expectativas, sendo uma das principais forças do produto.
- **Capacidade de Frenagem e Experiência Geral:** Ambas as categorias tiveram uma boa aceitação, com 17 e 21 avaliações em "Muito Satisfeito", respectivamente. Esses resultados indicam que tanto a segurança proporcionada pelo sistema de frenagem quanto a experiência geral de uso foram percebidas de forma favorável pelos usuários.
- **Conforto e Design e Estética:** Embora ambas as categorias tenham recebido avaliações predominantemente positivas ("Satisfeito"), há uma quantidade expressiva de usuários que relataram neutralidade ou insatisfação, especialmente no quesito conforto, com 13 avaliações neutras e 10 insatisfeitas. Isso aponta para possíveis melhorias ergonômicas e estéticas que podem ser exploradas.
- **Estabilidade do Veículo:** Este foi o critério que apresentou a maior insatisfação, com 22 avaliações "Insatisfeito" e 10 "Muito Insatisfeito". Esses dados sugerem uma melhoria no produto.
- **Manobrabilidade:** Este critério obteve um desempenho intermediário, com uma distribuição relativamente equilibrada entre avaliações positivas (18 combinações de "Muito Satisfeito" e "Satisfeito") e negativas (22 avaliações combinadas de "Insatisfeito" e "Muito Insatisfeito"). Esse dado também sugere um ponto de melhoria.

Diante do exposto, por meio das análises, evidenciou-se os pontos fortes e áreas de melhoria do triciclo. Critérios como visibilidade do condutor e desempenho do motor destacam-se positivamente, demonstrando que o produto já possui atributos bem aceitos pelos usuários. No entanto, aspectos como estabilidade do veículo, conforto e manobrabilidade requerem ajustes para aumentar a satisfação dos usuários e garantir uma experiência mais equilibrada e segura.

Através destes resultados nosso projeto conseguiu delinear:

- Aperfeiçoamento de Componentes

Com base nos resultados dos testes, foram realizados ajustes no sistema de carenagem para torná-lo mais viável economicamente, mantendo a segurança e

funcionalidade. O firmware dos sensores de segurança foi aprimorado, desenvolvido em Python, e integrado ao computador de bordo Raspberry Pi 4.

8. Protótipo Versão 2.0

Todos os testes, e a pesquisa prévia, municiaram de informações para que a equipe pudesse desenvolver a segunda versão do triciclo.

No projeto de pesquisa, a fase de Design Colaborativo, que incorporou sugestões dos usuários finais que testaram a versão anterior para desenvolver a Versão 2.0, reflete a busca por um MLP. Esse processo iterativo garante que o aprimoramento do produto esteja alinhado com a aceitação social e as necessidades reais dos usuários, uma vez que a inovação frugal deve ser acessível e adaptável ao contexto local.

Em vez do alumínio, material utilizado inicialmente, a construção resolveu efetuar uma modificação com tubos em aço carbono AISI 1020 de 6,35 mm de espessura, ainda mais fácil de encontrar no mercado e com preço deveras acessível. Fazer mais com menos, é um dos mantras da inovação frugal e foi seguida à risca neste ponto, pois a soldagem deste tipo de tubo não é nada complicada, muito menos cara. Este tipo de aço é conhecido por sua boa soldabilidade, o que significa que pode ser soldado facilmente usando métodos tradicionais, como soldagem com eletrodo revestido ou MIG/MAG, facilitando a contratação de um profissional normal de mercado.

A estrutura base do triciclo foi composta por um chassi tipo *space frame*, formado por uma estrutura tridimensional feita de tubos interconectados, montados em um padrão geométrico triangular que ajudou a oferecer alta rigidez torcional e leveza.

Além da questão dos materiais e valor bem menor, tal estrutura foi construída sem a necessidade de maquinários que iriam onerar ainda mais o projeto, ou seja, toda montagem foi feita manualmente, mais um quesito que se conecta diretamente à inovação frugal.

Já a carenagem foi executada com chapas de polipropileno (PP) de 2 mm, material leve, atóxico, reciclável e resistente a intempéries e impactos, e muito barata.

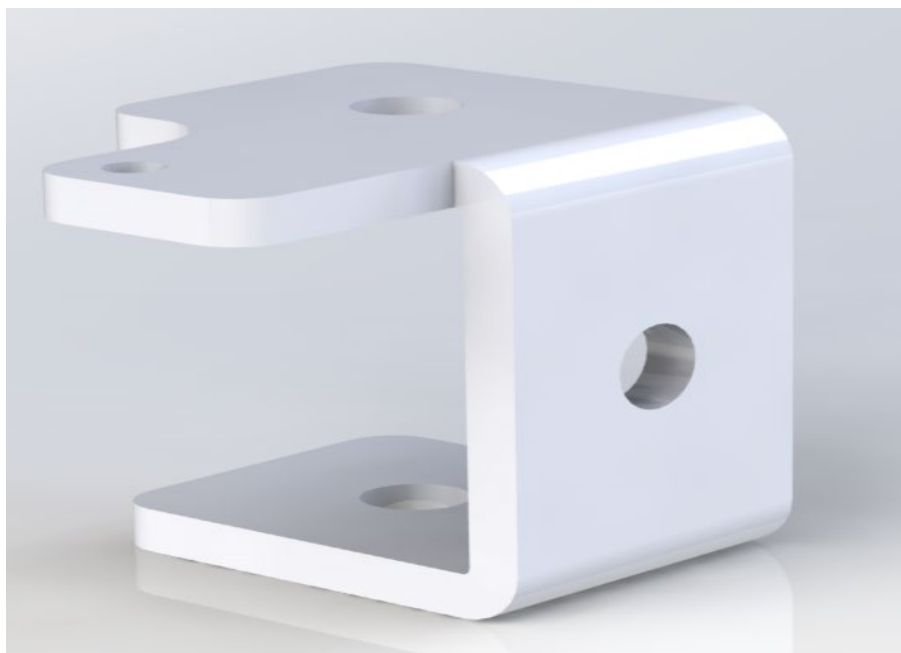
Para os fechamentos e proteção dos componentes, foram utilizadas estruturas de impressão 3D em filamento PETG preto, esse material é um termoplástico popular na impressão 3D, conhecido pela sua combinação de resistência mecânica, durabilidade, permitindo flexibilidade no design e menor custo de fabricação.

8.1. Motorização e Sistema Elétrico

O sistema de propulsão não teve mudanças significativas, a não ser ajustes de localização, para evitar acidentes, como o rompimento de algum cabo, por exemplo.

8.2. Direção, Ergonomia e Segurança

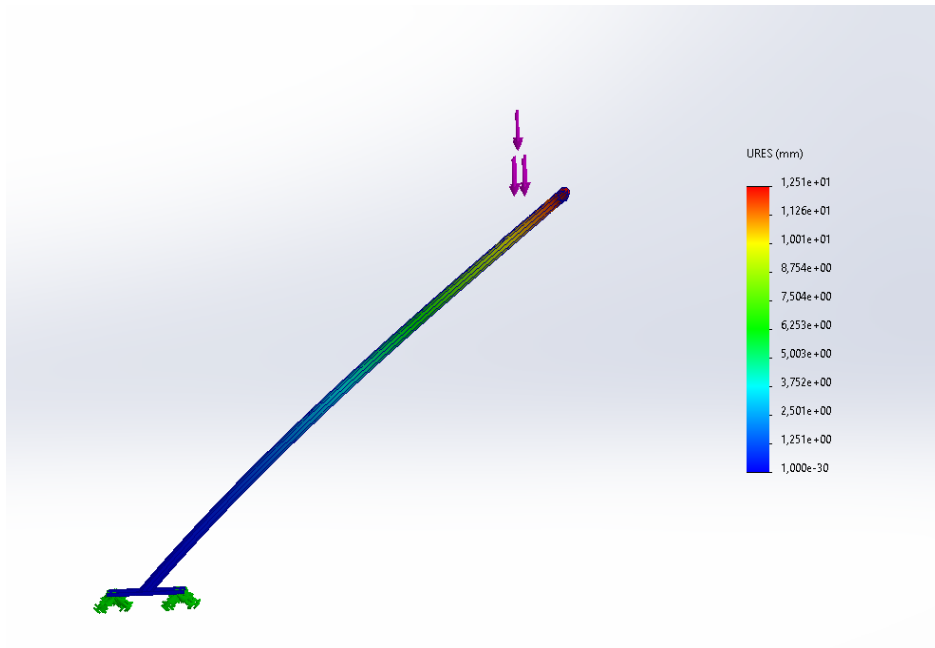
A geometria de direção foi redesenhada na versão 2.0 para utilizar manga de eixo com rolamentos axiais, melhorando a estabilidade nas curvas. O guidão original, que apresentava flexão excessiva, foi substituído por uma coluna de direção com volante, reduzindo a deflexão e melhorando a ergonomia. Novamente o projeto buscou uma solução dentro da própria universidade, foi encontrada uma solução de alto nível, através de um profissional bastante experiente no assunto. O Engenheiro Arthur Lauro, implementou melhorias rapidamente, e conseguiu aprimorar e resolver alguns dos problemas levantados durante os testes anteriores.



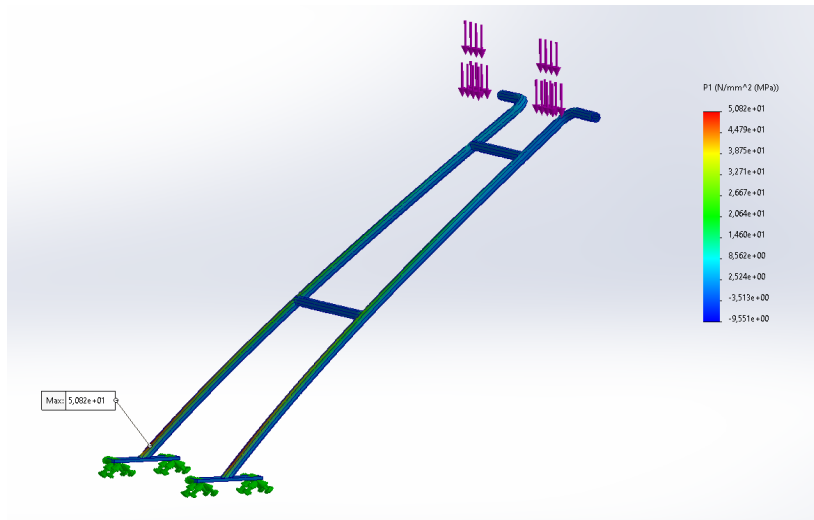
Detalhe da manga de eixo (Dados do autor (2025))



Nova coluna de direção com volante (Dados do autor (2025))



Resultado de deformação da análise estática (Dados do autor (2025))



Resultado de tensão principal da análise estática (Dados do autor (2025))



Coluna de direção apoiada com volante (Dados do autor (2025))

8.3. Design, estética e acabamento final

A carenagem final do *ecoT* foi desenvolvida com curvas fluidas e estrutura otimizada, permitindo visibilidade plena do condutor e integração com o painel solar. O design adotado buscou equilíbrio entre funcionalidade, leveza e apelo visual moderno, inspirado em veículos urbanos futuristas.



Eco-T final (Dados do autor (2025))



Versão 2.0 (Dados do autor (2024))

A identidade visual desenvolvida para o projeto (*ecoT*) reforça seu vínculo com os conceitos de ecologia, economia, eletricidade, tecnologia e transporte urbano. Essa marcação gráfica foi aplicada ao protótipo final e ao material de divulgação científica e institucional do projeto.

8.4. Sugestão de framework para inovação frugal na Academia

Através deste estudo de caso, foi desenvolvido um *framework* que pode ajudar a guiar o uso da inovação frugal como uma ferramenta poderosa no desenvolvimento de pesquisa e projetos no ambiente acadêmico.

Framework é uma palavra na língua inglesa, constantemente usada no ambiente da tecnologia da informação, para designar uma estrutura do código que poderia ser novamente usado como uma base recorrente para o desenvolvimento de um software, podendo simplificar o processo. Uma espécie de manual que oferece um conjunto de ferramentas, diretrizes e padrões para agilizar a criação de aplicações. Organizando o código e definindo a arquitetura de um projeto, permitindo que os desenvolvedores se concentrem nas funcionalidades específicas de sua aplicação em vez de escrever tarefas comuns do zero.

Não há um único *framework* oficial para qualquer assunto, e não seria diferente para a inovação frugal, mas pode-se fazer uso dos seus pilares fundamentais: que são a simplicidade, sustentabilidade e acessibilidade, além disso outros quesitos como o uso da criatividade para contextos complexos, facilidade de expansão e escalabilidade, a conectividade de pessoas e suas experiências, design intuitivo, uso de recursos locais e tecnologias e materiais sustentáveis, e presença de soluções não convencionais.

Ao adotar este framework, ou qualquer outra sugestão ligada a inovação frugal, a pesquisa acadêmica poderia transformar a restrição de recursos em uma vantagem estratégica, uma alavanca, promovendo um ciclo virtuoso de desenvolvimento mais inclusivo e sustentável.

Um framework pode atuar como uma bússola que, ao invés de buscar grandes oceanos de investimento (Inovação Tradicional), orienta o pesquisador a navegar com maestria nos rios de recursos disponíveis, utilizando a canoa (protótipo) mais robusta

e eficiente possível, garantindo que a jornada do conhecimento chegue aos portos mais necessitados (as comunidades) com o menor custo e o maior impacto social.

O projeto ou pesquisa precisa ser analisado e verificar quais os melhores aspectos e ferramentas podem ser corretamente usados. Não é uma receita gastronômica onde a ausência de um ingrediente pode desandar o prato. O pesquisador precisa analisar quais os aspectos relevantes para seu caso.

Requisitos para desenvolver projetos com Inovação Frugal:

Para que um produto, serviço ou processo seja desenvolvido através da inovação frugal, é importante estar atento as seguintes características:

1. Recursos escassos

Esses recursos podem ser de toda ordem, sejam financeiros, de pessoal, de estrutura, de materiais ou até mesmo de tempo.

2. Resolução de um problema real valor

O projeto ou pesquisa deve buscar uma solução para um problema real, principalmente se for relevante para sociedade.

3. Conectividade:

A conexão de pessoas, parceiros, demais participantes diretos ou indiretos do projeto/pesquisa é essencial.

5. Facilidade e Simplicidade

O projeto/pesquisa deve buscar um número reduzido de características, focando nos requisitos funcionais essenciais, sempre sem renunciar à inovação.

6. Canais de acesso não convencionais:

Pensar que a solução deve estar disponível para o público através de canais alternativos de distribuição.

7. Adaptação e alavancagem:

Deve aproveitar, sempre que possível, os produtos, insumos e serviços já existentes, em vez de desenvolver tudo do zero.

8. Uso de recursos locais:

A produção deve priorizar insumos e materiais já disponíveis localmente, sem a necessidade de importação.

9. Tecnologias verdes:

Incorporar tecnologias que utilizam fontes de energia renováveis, como as tecnologias verdes.

10. Acessibilidade (Baixo custo):

A inovação deve ter baixos custos de entrada e operação, tornando-a acessível a um grande número de pessoas.

8.5. Pilares Fundamentais, conceitos que ajudam a inovar de maneira frugal.

As características listadas acima se apoiam em três pilares centrais:

- **Simplicidade:** Eliminação do supérfluo e foco na funcionalidade essencial.
- **Sustentabilidade:** Utilização racional de recursos, incluindo materiais, energia e o combate ao desperdício.
- **Acessibilidade:** Redução dos custos para que a solução seja acessível ao maior número de pessoas.

8.6. Fases do Framework

Este framework foi dividido em fases:

8.6.1. FASE 1

Compreensão e Alinhamento Estratégico

Inicialmente é preciso compreender a mentalidade da inovação e os critérios essenciais que diferenciam a pesquisa frugal de projetos convencionais. A inovação frugal, sendo uma forma diferente para a busca de soluções, exige uma reorientação na abordagem do problema.

Definição da Proposição de Valor Frugal

O projeto deve ser concebido para criar valor comercial e social, minimizando o uso de recursos como energia, capital e tempo. A inovação frugal desenvolve capacidades de inovação em mercados com limitações de recursos.

Weyrauch e Herstatt (2016), definiram três critérios para um projeto ser classificado como genuinamente frugal:

- Recursos realmente escassos em comparação a projetos convencionais existentes. Os autores dizem em pelo menos um terço;
- Focar nas características essenciais. Buscando os requisitos funcionais centrais, deve-se eliminar o supérfluo e as características que não adicionam valor, priorizando a simplicidade e a funcionalidade;
- Independentemente dos obstáculos, os resultados devem oferecer um nível de qualidade aceitável, robustez e durabilidade suficiente para atender às necessidades específicas do projeto ou pesquisa, sem recorrer a tecnologias excessivamente sofisticadas.

Mudar a abordagem metodológica e contextual

A pesquisa frugal deve ser estruturada metodologicamente para abraçar a escassez. Enquanto a inovação tradicional é geralmente do tipo *top-down* e guiada por P&D mais sofisticado, a inovação frugal é *bottom-up* e centrada no ser humano.

Inovação convencional *top-down* e inovação frugal *bottom-up* são duas abordagens opostas para o desenvolvimento de soluções inovadoras, tanto no modo como surgem as ideias quanto na forma de implementação.

No caso de uma pesquisa acadêmica, a inovação *top-down* é conduzida de cima para baixo, as decisões apenas pelos seus coordenadores, essa abordagem privilegia o controle, porém pode limitar a criatividade e a participação dos demais participantes nas decisões inovadoras. Há um controle rígido de processos. As ideias ou possíveis soluções normalmente refletem a visão da liderança, e não do grupo, ou até mesmo nem do pesquisador.

Já a inovação frugal surge de baixo para cima, partindo das ideias do grupo, e de soluções de uso mais social, especialmente em contextos com poucos recursos e altas restrições. Prioriza as soluções simples, acessíveis, sustentáveis e adaptáveis

criadas a partir da experiência prática do dia a dia, valorizando e combinando o conhecimento do grupo e dos pesquisadores.

8.6.2. FASE 2

Execução Adaptativa e Bricolagem Sistemática

Aqui se dá a aplicação prática dos princípios de frugalidade no ciclo de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) acadêmico, transformando a restrição de recursos em engenhosidade.

Estratégias de Recursos: Bricolagem e Reapropriação

Em vez de focar na aquisição de novos materiais e tecnologias (o que o modelo *schumpeteriano* tradicional exige), a pesquisa frugal adota o princípio da bricolagem.

O pesquisador deve buscar os recursos que estiverem mais disponíveis, aplicando uma combinação destes, mesmo que escassos ou inadequados, para resolver novos problemas. Isso envolve usar insumos e materiais disponíveis localmente e utilizar o conhecimento já existente do time, como experiências e networking.

Desenvolver através da inovação frugal não deve significar utilização de baixa tecnologia, mas sim o uso de tecnologias existentes e a recombinação em novas formas e novos usos para criar um desempenho adequado, evitando grandes investimentos em P&D.

Priorizar o reuso de materiais, ideias ou processos, reduzindo custos e desperdício. A atenção ao ciclo de vida completo (do desenvolvimento à eliminação) de um produto e materiais alinha com um dos principais preceitos da inovação frugal, a sustentabilidade.

Inovação Aberta

A escassez de recursos internos nas universidades brasileiras pode levar um projeto com inovação frugal a buscar colaboração externa para acessar ativos, recursos e conhecimento especializado.

Desenvolver parcerias com empresas, outras universidades, empresas e até competidores, em todas as fases do processo de inovação.

O envolvimento dos usuários no processo de design (Design Colaborativo) é essencial, garantindo que as soluções sejam relevantes e impactantes no contexto real. Isso se alinha ao princípio da facilidade de uso e design intuitivo.

Abertura de Conhecimento: Importante a adoção da lógica do código aberto ou similar, especialmente na fase inicial de design e desenvolvimento. Isso não apenas reduz o risco e o custo do P&D, mas também fomenta a disseminação do conhecimento.

8.6.3. FASE 3

Validação Frugal e Mensuração de Impacto

Esta fase garante que a solução desenvolvida na Academia seja avaliada não apenas pela sua originalidade e rigidez nas normas a serem seguidas, mas pela sua viabilidade (econômica e técnica) e seu impacto social e ambiental.

Avaliação de Desempenho e Viabilidade

O projeto deve provar que a abordagem frugal não compromete a eficácia.

Realizar testes de avaliação técnica. O protótipo funcional resultante deve ter potencial de replicabilidade.

O sucesso é medido pela capacidade de alcançar o custo de produção desejável (conceito de *target cost*), garantindo que o custo máximo permitido (preço potencial de mercado menos margem esperada) seja atingido. A Inovação Frugal combina eficiência em custos e inovação.

A pesquisa deve incluir a avaliação da aceitabilidade do produto/serviço por parte dos usuários-alvo.

Mensuração do Impacto e Sustentabilidade (Orientação Ética)

A Inovação Frugal na Academia deve ser orientada para a sustentabilidade, tanto ambiental quanto social.

Impacto Social Inclusivo: O projeto deve visar a criação de oportunidades e a melhoria do bem-estar para grupos sociais desatendidos (populações de baixa renda, Base da Pirâmide). Isso pode ocorrer através da geração de renda ou da redução do custo de acesso a bens e serviços.

Gestão de Recursos Ambientais: A pesquisa deve garantir que o projeto contribua para uma gestão mais adequada dos recursos ambientais não renováveis, minimizando o uso de materiais e energia.

Escalabilidade e Autonomia: O sucesso de um projeto desenvolvido com inovação frugal se manifesta na capacidade do projeto ou da solução se expandir para atingir um público maior com eficácia. Idealmente, a disseminação deve promover a autonomia dos grupos sociais em situação de vulnerabilidade, permitindo que eles próprios construam e mantenham as soluções (capacitação).

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados no projeto do triciclo representam uma etapa intermediária da pesquisa, que se encontra em fase avançada de desenvolvimento, apesar de ainda em processo de consolidação técnica e analítica. Esta dissertação descreve como a Inovação Frugal pode, mais que auxiliar, ser um elemento decisivo no desenvolvimento e concretização de um projeto, neste caso, a concepção e a construção de um triciclo elétrico assistido por pedal.

Este projeto surgiu como resposta aos vários desafios intensificados pela pandemia da COVID-19 e à necessidade de diversificação dos modais de transporte, principalmente no Campus universitário sempre com ênfase na acessibilidade, segurança, eficiência energética e baixo impacto ambiental (UN-HABITAT, 2020; GEHL, 2013).

A pesquisa foi desenvolvida no âmbito do Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído (LabRAC/FAU/UnB), caracterizou-se pelo uso direto dos princípios da Inovação Frugal, composta por uma abordagem interdisciplinar que articulou teoria e prática em diversas partes do projeto, e aplicada a gerência criativa dos recursos em um processo iterativo de projeto, prototipagem, testagem empírica e análise do feedback dos usuários. Os resultados obtidos até esta fase indicam a viabilidade técnica e operacional do ecoT, com elevados índices de aceitação entre os participantes, especialmente nos aspectos relacionados ao desempenho do motor, e à visibilidade. Ao mesmo tempo, os dados evidenciaram aspectos a serem aprimorados como estabilidade e manobrabilidade que orientaram as atualizações incorporadas à segunda versão do protótipo.

Do ponto de vista científico, o projeto contribuiu para o aprofundamento das discussões sobre mobilidade urbana sustentável, inovação tecnológica de baixo custo, design centrado no usuário e uso de fontes renováveis de energia (GOODMAN et al., 2020; SANTOS, 2008). A aplicação de ferramentas digitais, sensores embarcados e painéis solares flexíveis posiciona o projeto como uma plataforma experimental promissora, tanto para pesquisas futuras quanto para subsidiar políticas públicas voltadas ao transporte alternativo (GDF, 2021), direcionada a uma população de renda mais modesta. Mais do que um protótipo funcional, o ecoT simbolizou o compromisso da universidade com a geração de conhecimento voltado à transformação da realidade da sociedade. Ao integrar conhecimento técnico ao uso consciente dos recursos, escuta social e responsabilidade ambiental, a pesquisa reafirma o papel do pesquisador como agente de inovação e do projeto acadêmico como instrumento para a construção de cidades mais inclusivas, resilientes e inteligentes (BROWN, 2009).

Este estudo de caso, mostrou, na prática que o contexto da pesquisa acadêmica, especialmente em países com recursos limitados como o Brasil, é frequentemente marcado pela escassez de recursos financeiros, materiais, de pessoal ou de tempo, ou de todos esses juntos e que o modelo de desenvolvimento tradicional – como mostrado por Dagnino (2004 e 2014), representa a inovação como uma cadeia linear, pressupondo que a pesquisa científica segue a tecnológica, depois o desenvolvimento econômico e, por fim, o social – revelou-se ineficaz para gerar soluções reais que atendam às necessidades mais urgentes e principalmente às demandas das camadas mais desassistidas da população.

Os objetivos específicos deste trabalho, em sua maioria, foram atendidos. Os objetivos 1 e 3 são contemplados de forma consistente, enquanto os objetivos 2, 4 e 5 apresentam respostas relevantes, mas com potencial de maior sistematização e detalhamento em desenvolvimentos futuros.

A adequação dos conceitos e princípios da inovação frugal para projetos de pesquisa na Academia, é alcançada de modo abrangente, tanto na fundamentação teórica quanto na articulação com o contexto brasileiro de escassez de recursos e desigualdades. A discussão sobre inovação frugal, CCT, TCR, metodologias ágeis (MVP/MLP) e exemplos acadêmicos ajuda a consolidar a inovação frugal como um viável conjunto de ferramentas pertinente para ajudar a orientar pesquisas em

diferentes áreas, especialmente onde os recursos sejam limitados.

Mapear as necessidades, problemas, obstáculos e expectativas em cada etapa do projeto dentro da Academia foi fundamental no projeto do triciclo, para contextualização dentro do sistema de P&D brasileiro. Foi mapeado um panorama complexo de dificuldades de financiamento, infraestrutura, cultura de inovação e articulação universidade-sociedade, mostrado de maneira clara ao longo de toda a trajetória do projeto, principalmente no relato sobre a reestruturação de equipe, restrições orçamentárias, ajustes de escopo e soluções encontradas no projeto, de seu início até sua conclusão.

Quanto ao alinhamento entre concepção, desenvolvimento e construção do triciclo e os princípios da inovação frugal, este trabalho conseguiu entregar aquilo que propôs. Foram descritas as escolhas de materiais, soluções construtivas, recombinações tecnológicas, parcerias internas e processos iterativos de prototipagem que traduzem, na prática, critérios de simplicidade, sustentabilidade e acessibilidade, bem como o uso criativo de recursos locais e a abertura para colaboração externas. Reforçando que a trajetória do ecoT foi e é interpretada como um exemplo de inovação frugal aplicada, com ganhos em viabilidade, impacto social e potencial de replicabilidade.

Apesar de sua densidade narrativa, o mapeamento aparece de forma implícita e dispersa, sem um dispositivo de síntese que organize, etapa por etapa, as necessidades, obstáculos e expectativas enfrentados. Um quadro ou subseção específica sistematizando esses elementos poderia reforçar o atendimento deste objetivo, transformando a experiência relatada em ferramenta metodológica mais direta para outros pesquisadores que queiram aplicar os princípios de inovação frugal no desenvolvimento de seus projetos e pesquisas.

A realização dos testes de avaliação técnica dos protótipos conseguiu identificar perfeitamente onde a inovação frugal teve grande papel de relevância. A execução de testes operacionais do protótipo, as pesquisas de campo sobre aceitabilidade, organização de banco de dados e análises estatísticas permitiram não somente discutir desempenho, segurança, conforto, manobrabilidade, visibilidade e experiência geral do triciclo. Também ajudou a evidenciar que a lógica frugal se associa a um processo iterativo que, alimentados por agentes externos, ajudou na

evolução do projeto suportado por evidências empíricas.

Esse estudo de caso também mostrou o quão viável pode ser a implementação da inovação frugal na Academia e como seria importante a criação de políticas públicas neste sentido, pois as informações sobre a problematização da crise de inovação no Brasil mostram de maneira inequívoca que a defesa da inovação frugal como política desejável é urgente.

A necessidade do desenvolvimento de uma cultura de pesquisa frugal, poderá apresentar, cada vez mais, exemplos acadêmicos de projetos frugais em diferentes áreas, ajudando na orientação de novas pesquisas e projetos no ambiente universitário, com o fornecimento de insumos concretos para a adoção institucional dessa abordagem durante toda a vida escolar.

Ainda no campo das políticas públicas, seria importante adotar soluções frugais que poderiam subsidiar políticas não somente de mobilidade urbana sustentável, mas também de energia, água, saúde e inclusão. Há espaço para avançar em propostas operacionais, como formatos de programas, mecanismos de financiamento e arranjos de governança que viabilizem, em escala, a incorporação da inovação frugal às agendas governamentais.

A Inovação Frugal é um paradigma promissor e uma alternativa eficiente aos métodos tradicionais, pois transforma a limitação de recursos em uma vantagem estratégica. A filosofia central da frugalidade é “fazer mais com menos” (Batthi, 2012), o que se aplica tanto ao comprador quanto ao vendedor, ou, no contexto acadêmico, ao pesquisador e ao usuário final. O objetivo é criar não somente o valor comercial, mas também um valor social, atendendo às necessidades negligenciadas, de forma acessível, sustentável e escalável.

Esta dissertação contribui propondo um framework (estrutura) de quatro fases para a aplicação da Inovação Frugal em projetos e pesquisas no ambiente acadêmico, podendo ser expandido para outros ambientes. Este modelo procura integrar os pilares inovação frugal com conceitos de metodologias ágeis (MVP/MLP), pesquisa formal e a criatividade informal inerente ao contexto sociocultural brasileiro.

A inovação frugal não é apenas uma estratégia de redução de custos. É uma abordagem que busca resolver problemas de forma direta. O framework proposto

procura alinhar a visão de que a inovação frugal deve ser interpretada como uma mentalidade ligada a um processo na busca de um resultado viável.

Uma pesquisa acadêmica, ao adotar preceitos da inovação frugal, trabalhará combinando a eficiência no uso dos recursos com a inovação, transformando o conhecimento gerado em intervenções concretas, replicáveis e escaláveis, conforme o caso de uso.

Os resultados do teste de desempenho e aceitabilidade do triciclo são uma amostra de como os consumidores constroem suas escolhas e atitudes em relação a uma nova tecnologia de transporte, especialmente em relação a um produto que propõe uma mudança cultural e comportamental (uso compartilhado e mobilidade sustentável).

Ao incorporar conceitos de TCR e CCT, este trabalho se afastou de uma análise puramente técnica-econômica, reforçando que o sucesso da Inovação Frugal no projeto do triciclo está na sua capacidade de promover mudanças positivas na vida das pessoas (TCR) e na alteração da lógica de consumo cultural (CCT), alinhando-se aos objetivos de um futuro mais sustentável e inclusivo.

Espera-se que os aprendizados alcançados até aqui possam inspirar novas iniciativas, fortalecer parcerias institucionais e orientar os desdobramentos que mostrem que a Inovação Frugal não é um "plano B" para contextos pobres, mas um modelo replicável que redefine o valor da escassez na Academia, mostrando a capacidade da pesquisa ser executada no contexto "mais com menos".

A inovação frugal é uma abordagem essencial na pesquisa acadêmica, especialmente em contextos de recursos limitados ou em regiões onde o acesso a tecnologias avançadas é restrito. Ao adotar essa abordagem, os pesquisadores são incentivados a pensar de forma criativa e eficiente, encontrando soluções que maximizem o uso de recursos disponíveis e minimizem desperdícios. Essa mentalidade promove não apenas a sustentabilidade, mas também a inclusão social, ao possibilitar que mais comunidades se beneficiem dos avanços científicos sem a necessidade de investimentos exorbitantes.

A possibilidade de desenvolver tecnologias e metodologias que possam ser implementadas de forma rápida e econômica amplia o impacto do trabalho científico,

muitas vezes possibilitando aplicações viáveis. Essa abordagem também estimula o desenvolvimento de pesquisas adaptadas a necessidades específicas de diferentes populações, promovendo uma pesquisa mais contextualizada e relevante, conectando-se diretamente com os problemas reais da sociedade.

A adoção da inovação frugal na academia representa uma aplicação da mentalidade de inovação, valorizando a eficiência e a praticidade. Essa postura pode ajudar na busca do desenvolvimento pesquisas que, de fato, proponham soluções para desafios globais, como questões ambientais, saúde pública e inclusão social.

A inovação frugal não apenas enriquece o horizonte da pesquisa, mas também contribui para um mundo mais equitativo, sustentável e preparado para enfrentar os desafios do futuro. Torna a pesquisa mais possível e acessível, dando visibilidade a quaisquer instituições de ensino, não somente dentro do meio acadêmico, mas para a sociedade, superando o desafio de produzir conhecimento relevante além do escopo acadêmico, para se tornar fonte de soluções reais para problemas reais.

10. REFERÊNCIAS

- ALVES, A. C. de S.; SOUZA, T. S. F.; OLIVEIRA, M. A. de; HORTA, M. M. B.; MACHADO, A. R. T. Purificador de água com meio filtrante a base de carvão ativado da casca de coco verde. Seminário de Iniciação Científica, 5., 2016, Montes Claros. EVENTOS DO IFNMG, 2016, Montes Claros. Anais.
- ARAÚJO, C. V. M.; GUERRA, F. K. de O. M. V.; VALE, M. R. B. G. Construção de secador solar no semiárido nordestino utilizando materiais recicláveis. Revista Brasileira de Energia Solar, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 21–30, 2021.
- BHATTI, Y. What is Frugal Innovation? Journal of Innovation Economics, v. 10, n. 2, p. 1-17, 2012.
- BOUFLEUR, L. A. Gambiarra: entre o improvisado e a criatividade. In: X ENECULT – Encontro de Estudos Multidisciplinares em Cultura, 2013, Salvador. *Anais...* Salvador: UFBA, 2013.
- BREM, Alexander et al. How to design and construct an innovative frugal product? An empirical examination of a frugal new product development process. Journal of Cleaner Production, [S. l.], v. 275, p. 122232, 2020.
- BROWN, T. Design thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. * Rio de Janeiro: Alta Books, 2009.
- BUSCH, Hans-Christian. Frugal innovation in energy transitions: insights from solar energy cases in Brazil. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 321-340, jul. 2021.
- CAPES. Relatório Anual de Investimentos em Pesquisa 2022. Brasília: CAPES, 2023.
- CASTRO, G. F. de O.; ROSÁRIO, F. J. P.; LIMA, A. A. O Programa Centelha AL como fonte de inovação frugal. Diversitas Journal, Santana do Ipanema, v. 7, n. 1, p. 376-389, jan./abr. 2022

CHATAWAY, J. et al. Science, technology and innovation for development: contextualizing technology and innovation for sustainable development. *Innovation and Development*, v. 4, n. 1, p. 1–11, 2014.

CORRÊA, C. F. Gambiarra, reparo e desobediência tecnológica: práticas alternativas de produção e consumo. 2019. Dissertação (Mestrado em Sociologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

DAGNINO, R. et al. Tecnologias sociais: ferramentas para construir outra sociedade. *Revista Tecnologia Social em Debate*, v. 1, n. 1, p. 6–21, 2004.

DA MATTA, R. O que faz o brasil, Brasil? Rio de Janeiro: Rocco, 1986.

FERREIRA, V. Inovação frugal: o novo paradigma para os mercados emergentes. *Revista Ciências da Administração*, v. 17, n. 44, p. 177–197, 2015.

FERREIRA, V. Frugalidade: um estudo de inovações de baixo custo que modificam a realidade de comunidades carentes. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE (SINGEP), 4., 2015, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: SINGEP, 2015.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E INOVAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (FAPESC). Resultado de uma inovação frugal, despulpadeira de butiá é usada por comunidade rural. Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://fapesc.sc.gov.br/resultado-de-uma-inovacao-frugal-despulpadeira-de-butiá-e-usada-por-comunidade-rural/>. Acesso em: 25-jul-2025

GEHL, J. Cidades para pessoas. São Paulo: Perspectiva, 2013.

GEORGE, G. et al. Frugal innovation: a means to reduce the cost of innovation and serve new markets. *Academy of Management Perspectives*, v. 26, n. 4, p. 66–82, 2012.

GDF – GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. *Plano de Mobilidade Urbana Sustentável do Distrito Federal – PlanMob/DF. Brasília: SEMOB, 2021. Disponível em: <https://www.semob.df.gov.br/planmobdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GOODMAN, A.; RAVAZZOLI, E.; PAFFENBICHLER, P. E-bikes and their promise for sustainable transport. *Transport Reviews*, London, v. 40, n. 3, p. 322–341, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1728415>.

GORZ, A. *A ideologia social do carro: o automóvel, o lugar comum e a liberdade*. São Paulo: Annablume, 2005.

GROSSI, G.; ROMEIRO FILHO, E. Inovação frugal e gambiarra: aproximações e distinções conceituais. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 20, n. 55, p. 60–80, 2024.

HERNÁNDEZ, F.; DEL RIO, P.; MELLA, C. Bricolagem e saberes da prática: a criatividade no cotidiano escolar. *Revista Brasileira de Educação*, v. 23, n. 74, p. 1–20, 2018.

HINDOCHA CN, ANTONACCI G, Barlow J, et al Defining frugal innovation: a critical review, *BMJ Innovations* 2021;7:647-656.

KOELLER, Priscila. *Evolução dos Dispendios em Pesquisa e Desenvolvimento: destaques das últimas estatísticas*. Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade — Ipea, 06 ago. 2025. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/499-evolucao-dos-dispendios-em-pesquisa-e-desenvolvimento>.

LAGNADO, L. *Arquiteturas precárias: gambiarra, improviso e experimentações nas artes visuais*. In: **Arte e Tecnologia: reflexões contemporâneas.** São Paulo: Itaú Cultural, 2003.

LÉVI-STRAUSS, C. *O Pensamento Selvagem*. São Paulo: Companhia das Letras, 1962.

LIMA, J. S. et al. *Irrigação Alternativa Utilizando Garrafas PET*. [S. I.]: LAVIET- UFBA em Campo, [2003?]. 7 p. Material didático.

LIMA, T. B. *Cultura da gambiarra: bricolagem técnica no cotidiano urbano*. 2022. Tese (Doutorado em Antropologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

LÜCKHOFF, A. et al. Development of a lightweight electric trike commuter vehicle (TREC). Durban: University of KwaZulu-Natal, 2016.

MALHÃO, S. Gambiarra e cultura maker: a desobediência tecnológica como forma de criação. *Revista Eletrônica Estudos Híbridos na Arte*, v. 1, n. 1, p. 45–57, 2015.

MANZINI, E. Design para inovação social e sustentabilidade: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

MANZINI, E. Design, quando todos fazem design: uma introdução ao design para a inovação social. São Paulo: Editora Blucher, 2017.

MATOS, C. Gambiarra e resistência urbana: práticas populares de tecnologia nas periferias. *Revista Urbana*, v. 10, n. 2, p. 133–150, 2018.

MONTENEGRO, M. A.; PEREIRA, R. C.; HOFMANN-GATTI, T.; MARTINS, G. B. C.; SUAREZ, P. A. Z. Aproveitamento de Óleos e Gorduras Residuais para Obtenção de Produtos de Alto Valor Agregado: Formulação de Tinta de Impressão a Partir de Óleo Residual de Fritura. *Revista Virtual de Química*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 26-37, jan./fev. 2013.

OECD. Gross domestic spending on R&D.* Paris: OECD Publishing, 2023.

PERPÉTUO, J. Gambiarra e vulnerabilidade: estratégias de sobrevivência nas periferias brasileiras. *Revista Estudos Urbanos e Regionais*, v. 26, n. 1, p. 99–115, 2024.

PRADO, M. Jeitinho brasileiro: a arte de ser mais igual que os outros. São Paulo: Globo, 2012.

PRAHALAD, C. K.; MASHELKAR, R. A. Innovation's Holy Grail. *Harvard Business Review*, v. 88, n. 7, p. 132-141, 2010.

RADJOU, N. et al. A inovação frugal: como fazer mais com menos para atender os 4 bilhões de consumidores do mundo base da pirâmide. São Paulo: M.Books, 2012.

RADJOU, Navi; PRABHU, Jaideep; AHUJA, Simone. A Inovação do Improvise: Por que menos é mais na construção de riquezas e resultados. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

RECHE, L. de A.; SANTOS JUNIOR, J. B. dos; SOARES, J. P.; SILVEIRA, N. A. da; MAIA, N. S.; BONFIM, T. R.; OLIVEIRA, M. L. Uma Proposta de Incubadora Multissensorial para Neonatos: Das Práticas Médicas com o Robô Premature Anne às Possibilidades de Transformação em Produto de Baixo Custo. In: Anais do Workshop de Informática na Escola, 2019.

SANTOS, M. Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal. Rio de Janeiro: Record, 2008.

SANTOS, N. M.; SANTOS, C. M.; SOUZA, N. de. Uma proposta para o desenvolvimento de uma prótese mecânica de baixo custo para membros superiores (mão mecânica). *_ReBraM - Revista Brasileira Multidisciplinar_*, v. 28, n. 1, p. 83-93, 2025.

SANTOS, R. et al. Resposta brasileira à COVID-19: inovação frugal em equipamentos médicos. *Revista Saúde Pública*, v. 55, e45, 2021.

SCARABELLI, B. H.; MACHADO, H. P. V.; SARTORI, R. Inovação frugal: estudos de caso sobre a criação de ventiladores mecânicos para a pandemia da covid-19. *REAd. Revista Eletrônica de Administração (Porto Alegre)*, v. 27, n. 3, p. 870–895, dez. 2021.

SILVA, I. M. da. Inovação frugal: o uso criativo da tecnologia em tempos de crise. *Revista GESTEC*, v. 6, n. 2, p. 39–58, 2018.

UN-HABITAT. World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. Nairobi: UN-Habitat, 2020. Disponível em: <https://unhabitat.org/world-cities-report>. Acesso em: 10 jun. 2025.

VIANA, A.; OKANO, M.; HONORATO, W.; LOBO, H. Inovação frugal: desenvolvimento e piloto de uma pesquisa qualitativa em empresas brasileiras de

televisão. In: XVI SIMPÓSIO DOS PROGRAMAS DE MESTRADO PROFISSIONAL, 2021, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: CEETEPS, 2021. p. 1067-1076.

WEYRAUCH, T.; HERSTATT, C. What is frugal innovation? Three defining criteria. *Journal of Frugal Innovation*, v. 2, n. 1, p. 1–17, 2017.

WIPO. *Global Innovation Index 2023*. Genebra: WIPO, 2023.

ZESCHKY, M. et al. From cost minimization to value creation: how frugal innovation changes innovation management. *Journal of Technology Management & Innovation*, v. 9, n. 1, p. 28–35, 2014.