



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB)
CAMPUS DARCY RIBEIRO
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CDS)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

TESE DE DOUTORADO

**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PANTANAL,
BRASIL**

Juliana Sobreira Arguelho

Brasília – DF
Julho de 2025



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB)
CAMPUS DARCY RIBEIRO
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CDS)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

TESE DE DOUTORADO

**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PANTANAL,
BRASIL**

Juliana Sobreira Arguelho

Tese de Doutorado apresentada ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como requisito para o exame de defesa do curso de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Dr. Carlos Hiroo Saito

Coorientadora: Dr^a. Aneta Afelt

Brasília – DF

Julho de 2025



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB)
CAMPUS DARCY RIBEIRO
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CDS)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PANTANAL,
BRASIL**

Juliana Sobreira Arguelho

Tese de doutoramento submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão da Sustentabilidade.

Aprovado por:

Brasília – DF
Julho de 2025

Ficha catalográfica

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Tese e emprestar ou vender tais cópias, somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta Tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Juliana Sobreira Arguelho

Juliana Sobreira Arguelho

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de Brasília (UnB) pelo ensino público, gratuito e de qualidade, que foi essencial para minha formação. Minha participação nas atividades do Laboratório de Ecologia Aplicada (EcoA), no Instituto de Ciências Biológicas, foi determinante para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, tornando-se um espaço onde me senti verdadeiramente acolhida. Sou profundamente grata aos professores Carlos Saito, Romero e Carlos Henke pelo apoio constante, orientações valiosas e estímulo contínuo ao longo dessa jornada.

Ao meu orientador, professor Carlos Saito, deixo um agradecimento especial pelas orientações firmes, pelo incentivo constante à pesquisa e pela confiança em minha trajetória. À minha coorientadora, professora Aneta Afelt, expresso sincera gratidão pelas contribuições essenciais, pela escuta atenta e pela generosidade intelectual que enriqueceram este trabalho.

Agradeço a Kamil Leziak pela elaboração dos modelos topoclimáticos e a Daniel Pires Bitencourt pelos cálculos do índice WBGT, ambos fundamentais para as análises desta pesquisa. Reconheço também o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), bem como das políticas de permanência e assistência estudantil da UnB, que foram cruciais para que eu pudesse residir em Brasília e seguir com os estudos, distante da minha terra natal no Mato Grosso.

A todos os professores, colegas, técnicos e funcionários do CDS que contribuíram direta ou indiretamente para meu crescimento acadêmico, deixo meu sincero reconhecimento. Ao longo do doutorado, muitas pessoas cruzaram meu caminho e deixaram sua marca.

Por fim, dedico esta conquista à minha família — meus pais, avó, tios e tias —, por todo apoio, carinho e orações. Pessoas simples e batalhadoras que sempre acreditaram no poder da educação como transformação. A vocês, meu mais profundo agradecimento.

*“O meu pai foi peão, minha mãe solidão
Meus irmãos perderam-se na vida
A custa de aventuras
Descasei, joguei, investi, desisti
Se há sorte eu não sei, nunca vi
Sou caipira, pira, pora
Nossa Senhora de Aparecida
Ilumina a mina escura
E funda o trem da minha vida”
Renato Teixeira*

*“E são tantas marcas
Que já fazem parte
Do que eu sou agora
Mas ainda sei me virar...”
Os Paralamas do Sucesso*

RESUMO

As mudanças climáticas têm causado impactos significativos sobre os sistemas de subsistência das populações humanas, especialmente aquelas que dependem diretamente da extração de recursos naturais. Nas últimas décadas, esses eventos vêm provocando redistribuições geográficas de espécies, perda de biodiversidade e alterações nos ciclos ecológicos. No Brasil, o bioma Pantanal tem sofrido efeitos intensos, agravados pela expansão do agronegócio e pela crescente pressão antrópica. Diante desse cenário, a restauração ecológica surge como uma solução baseada na natureza, capaz de recuperar paisagens degradadas e promover resiliência ecológica e climática. Esta tese propõe uma abordagem integrada para identificar áreas prioritárias de restauração ecológica no Pantanal, utilizando modelagem topo-climática de alta resolução, índices de estresse térmico humano e calor (UTCI e WBGT), critérios socioambientais e dados funcionais de espécies nativas. A análise espacial revelou regiões com maior vulnerabilidade térmica e ecológica, destacando a importância da vegetação na regulação microclimática e no conforto térmico humano. Além disso, considera-se essencial o reconhecimento das percepções e conhecimentos das comunidades locais para que estratégias de adaptação sejam efetivas e justas. Com base no nexo entre restauração e mudanças climáticas, a tese também dialoga com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 13, 14, 15 e 3), reforçando a importância de políticas públicas e intervenções restaurativas que promovam a integridade ecológica, o bem-estar humano e a justiça socioambiental.

Palavras-chave: restauração ecológica; Pantanal; mudanças climáticas; modelagem topo-climática; conforto térmico; espécies nativas; justiça socioambiental.

ABSTRACT

Climate change has significantly impacted the livelihoods of human populations worldwide, especially those who depend directly on the extraction of natural resources. In recent decades, these environmental changes have driven the geographic redistribution of species, biodiversity loss, and disruptions in ecological processes. In Brazil, the Pantanal biome has been severely affected by climate variability, exacerbated by the expansion of agribusiness and increasing anthropogenic pressures. In response, ecological restoration has emerged as a nature-based solution capable of rehabilitating degraded landscapes while enhancing ecological and climate resilience. This thesis proposes an integrated approach to identify priority areas for ecological restoration in the Pantanal, combining high-resolution topoclimatic modelling, heat and human thermal stress indices (UTCI and WBGT), socio-environmental criteria, and functional data on native species. Spatial analyses identified zones with high thermal and ecological vulnerability, highlighting the role of vegetation in microclimate regulation and human thermal comfort. Moreover, the inclusion of local and traditional communities' perspectives is essential to ensure that adaptation strategies are both effective and socially just. By exploring the nexus between ecological restoration, climate change, and human health, this research aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs 13, 14, 15, and 3). It reinforces the urgency of science-based public policies and participatory restoration actions that promote ecosystem integrity, human well-being, and socio-environmental justice.

Keywords: ecological restoration; Pantanal; climate change; topoclimatic modelling; human thermal comfort; native species; socio-environmental justice.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma da Organização da Tese.	52
Capítulo 1	81
Figura 1. Os termos combinados foram aplicados às bases de dados Google Scholar, Scopus, Web of Science e Scielo, com foco em restauração ecológica, biodiversidade e mudanças climáticas, para artigos publicados entre 2013 e 2024.	86
Figura 2. Processo de revisão bibliográfica, que inclui três etapas distintas: identificação, triagem (exclusão) e inclusão. Na fase de identificação, foram coletados todos os resultados de busca nas plataformas Google Acadêmico, Scielo, Scopus e Web of Science. Em seguida, na etapa de triagem, foram excluídos todos os resultados de busca que não atenderam aos critérios pré-estabelecidos. Nas análises finais, apenas 85 artigos foram incluídos.	87
Figura 3. Linha do tempo da evolução do conceito de Restauração Ecológica nos últimos 30 anos. Fonte: Autores.	89
Capítulo 2	119
Figura 1. Localização do município de Wieliczka, Polônia.	123
Figura1b. Localização e pontos turísticos da cidade de Wieliczka, na Polônia. (A) Mapa da cidade de Wieliczka e região (Google Maps). (B) Entrada principal da Mina de Sal de Wieliczka (fonte: Wikimedia Commons). (C) Vista aérea do centro histórico de Wieliczka, com destaque para a Igreja de São Clemente (fonte: Adobe Stock). (D) Interior da Mina de Sal de Wieliczka, com esculturas e lustres feitos de sal (fonte: Wikimedia Commons).	124

Figura 2. Unidades topoclimáticas do município de Wieliczka, adaptadas ao plano estratégico de mudança climática (2023), com codificação das unidades segundo Afelt et al., 2022.	132
Figura 3. Distribuição espacial do estresse térmico (como índice UTCI) para quatro tipos de climáticos no município de Wieliczka. Legenda das classes de estresse térmico: (Vermelho escuro) estresse por calor extremo; (vermelho) estresse por calor muito severo; (laranja) estresse por calor severo; (amarelo) estresse por calor moderado; (verde) sem estresse por calor.	133
Figura 4. Polígonos de amostragem para três tipos de uso do solo (urbano, rural, vegetação) no município de Wieliczka. Baseado em dados aerofotogramétricos do Geoportal.gov.pl	135
Figura 5. Variação dos valores UTCI em áreas urbanas, rurais para os quatro tipos climáticos analisados.	137
Figura 6. Frequência de permeabilidade para três tipos de usos do solo investigados: urbanizado, rural e sob vegetação. Os dados correspondem as regiões apresentadas na Figura 4.	140
Figura 7. Número anual de dias com temperatura máxima diária acima de 25°C, previsto para o município de Wieliczka, cenário RCP8.5, cálculos feitos durante décadas, com base em www.klimada2.ios.gov.pl/ e EURO-CORDEX, reduzidos.	143
Capítulo 3	157
Figura 1. Procedimento metodológico para identificar áreas prioritárias para restauração ecológica no Pantanal brasileiro, considerando a intensificação das mudanças climáticas e seus impactos sobre a vegetação, o clima local e o bem-estar humano.	161

Figura 2. Uso e cobertura da terra do Pantanal brasileiro em 2022. Fonte: Silva e Abdon (1998) e Coleção Mapbiomas 8 (Souza et. al., 2020).	164
Figura 3. Área de estudo do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. Fonte: Silva e Abdon (1990); IBGE (2020).	166
Figura 4. Sub-regiões prioritárias de restauração com maior área de “topoclima quente” (vermelho) no Pantanal. Miranda (c) apresenta a maior extensão contínua, seguida por Cáceres (b), Barão de Melgaço (a) e Paraguai (d).	178
Figura 5. Sub-regiões com prioridade moderada para restauração ecológica. Áreas quentes fragmentadas em Porto Murtinho, Nabileque, Aquidauana e Poconé indicam potencial para recuperação.	179
Figura 6. Mapa da sub-região de Miranda destacando as áreas contínuas de “topoclima quente” (vermelho). As áreas em vermelho indicam zonas com valores elevados de estresse térmico ($10^6 - 10^8$), representando os locais mais críticos em termos de desconforto térmico humano. O retângulo vermelho delimita a área escolhida para o estudo detalhado de priorização de restauração ecológica. Os quadrados azuis destacam as áreas com alto estresse térmico, contudo em áreas agrícolas.	180
Figura 7. Mapa da sub-região de Miranda (MS) com destaque para as Terras Indígenas Cachoeirinha e Taunay/Ipegue, sobreposto à classificação de uso e cobertura da terra segundo o MapBiomas (Coleção 8.0, ano base 2022) e às áreas com topoclima quente selecionado. As Terras Indígenas são representadas com padrões diferenciados, e as áreas pontilhadas dentro dessas terras indicam os polígonos foco para ações prioritárias de restauração ecológica, localizados em zonas de maior estresse térmico.	186

Figura 8. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI A. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.	192
Figura 9. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI B. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.	193
Figura 10. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI C. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.	194
Figura 11. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI D. No painel inferior (b) são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.	195

Figura 12. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI E. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica. 196

Figura 13. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI F. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica. 197

Apêndice 261

Apêndice A - Tela de busca da plataforma Flora e Funga do Brasil (<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>), utilizada para a seleção de espécies nativas com ocorrência no bioma Pantanal. A filtragem foi realizada por “Domínio Fitogeográfico = Pantanal” e por “Endemismo = apenas espécies endêmicas do Brasil”. 261

Apêndice B - Tela de busca da ferramenta Espécies Nativas na plataforma WebAmbiente (<https://www.webambiente.cnptia.embrapa.br/>), utilizada para obter informações ecológicas complementares sobre as espécies nativas do bioma Pantanal. Os filtros utilizados incluíram a seleção do bioma Pantanal, abrangendo todas as formações vegetais e fitofisionomias. 262

Apêndice C - Script desenvolvido em linguagem R para realizar análises estatísticas das áreas (em km ²) submetidas a diferentes categorias de estresse térmico na sub-região foco (Área Focal escolhida para a restauração ecológica de projetos futuros), considerando seis cenários climáticos (A a F). O código executa: (i) testes de normalidade (Shapiro-Wilk); (ii) comparação entre cenários presentes (A–D) e futuros (E–F) por meio de ANOVA, Kruskal-Wallis, teste t ou Wilcoxon, conforme aplicável; e (iii) comparações par a par entre cada cenário presente e futuro utilizando o teste de Wilcoxon. Os dados são estruturados em formato longo (long format) e os resultados estatísticos são apresentados por categoria de estresse térmico.	263
---	-----

Anexos

Anexo A - Figura 44 - Limite sul do Pantanal, a partir o entroncamento das Rodovias MS-325 e MS-243, e limite da Região Geomorfológica Planícies e Pantanaís Mato-Grossenses.	481
Anexo B - FIGURA 3. Probabilidade de perda de vegetação nativa em 2050 na Bacia do Alto Paraguai em três cenários alternativos.	482

Anexo C - Áreas passíveis de restauração ecológica nas Terras Indígenas Cachoeirinha e Taunay/Ipegue, Pantanal, Brasil. Visualização das áreas mapeadas como passíveis de restauração dentro dos limites das Terras Indígenas Cachoeirinha (a) e Taunay/Ipegue (b), localizadas no bioma Pantanal. As áreas em amarelo-claro representam os polígonos classificados como passíveis de restauração, conforme levantamento realizado pela The Nature Conservancy (TNC) em parceria com a Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI) e a Coordenação das Organizações Indígenas da Amazônia Brasileira (COIAB). Os limites das Terras Indígenas estão destacados em roxo, enquanto os limites estaduais aparecem em cinza claro.

484

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2	119
Tabela 1. Área total dos polígonos de teste usados para determinar os valores UTCI por tipos de uso do solo (correspondentes à Fig. 4).	134
Tabela 2. Participação de classes com permeabilidade diferente nos polígonos de teste por tipos de uso do solo [%]	135
Tabela 3. Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov de duas amostras para cada par entre os valores UTCI nos pares de uso do solo: urbano-rural, urbano-vegetação e rural-vegetação	137
Capítulo 3	157
Tabela 1. Classes de uso e cobertura da terra do Pantanal brasileiro em 2022. Fonte: Coleção Mapbiomas 8 (Souza et al., 2020).	164
Tabela 2. Distribuição dos tipos topoclimáticos no Pantanal brasileiro de acordo com as condições térmicas. As unidades topoclimáticas são agrupadas em três categorias térmicas (<i>hot</i> , <i>moderately warm</i> e <i>cool</i>), com base em conjuntos de dados espaciais existentes (Afelt et al., 2022; Arguelho et al., no prelo).	168
Tabela 3. Classificação do estresse térmico (adaptado de Matzarakis & Mayer, 1996) e expressões utilizadas no QGIS para seleção das feições.	173
Tabela 4. Área total (em km ²) do “topoclima quente” (<i>hot topoclimate</i>) com valores de classe logarítmica igual ou superiores a 10 ⁶ , agrupadas por sub-região do bioma Pantanal.	180

Tabela 5. Código de cada unidade topoclimática (Afelt et al., 2022), a área total ocupada (em km ²), a participação média de cada tipo na área analisada (%) e uma descrição das características distintas do balanço energético de cada grupo. Essas classificações refletem diferenças na entrada e na refletância da radiação solar, que afetam diretamente o estresse térmico e a regulação do microclima. *	184
Tabela 6. Polígonos topoclimáticos quentes selecionados (tipo 1131) na sub-região de Miranda, todos dentro da classe de 10 ⁶ –10 ⁷ km ² .	186
Tabela 7. Áreas totais (km ²) das Terras Indígenas localizadas nos municípios de Miranda e Aquidauana, MS, consideradas na análise espacial como área focal para futuras restaurações ecológicas.	187
Tabela 8. Distribuição percentual da cobertura e uso da terra nas áreas focais para restauração ecológica localizadas nas Terras Indígenas Cachoeirinha e Taunay/Ipegue, e a sub-região de Miranda-MS. As classes de vegetação estão baseadas na legenda temática do MapBiomias (coleção 8, ano 2022). A coluna “%” representa a proporção de feições por classe em relação ao total de células analisadas em cada área focal.	189
Tabela 9. Resultados dos testes estatísticos por categoria de estresse térmico na área foco, comparando cenários presentes (A–D) e futuros (E–F).	198
Tabela 10. Comparações “par a par” entre cenários presentes (A–D) e futuros (E–F), por categoria de estresse térmico, com valores de <i>p</i> obtidos pelo teste de Wilcoxon da área focal.	199
Tabela 11. Lista de espécies vegetais nativas priorizadas para ações de restauração imediata no Pantanal.	204
Apêndice	261

Apêndice D - Caracterização ecológica, geográfica e funcional de espécies nativas indicadas para restauração ecológica no bioma Pantanal. A tabela apresenta o nome aceito da espécie, forma de vida, ocorrência de endemismo, distribuição geográfica por região e domínio fitogeográfico, tipo de vegetação associada, estratégias sucessionais, modos de polinização e dispersão, status de conservação segundo as listas vermelhas da CNCFlora e da IUCN, e as respectivas fontes bibliográficas utilizadas para embasamento.	265
Apêndice E - Caracterização de espécies nativas indicadas para restauração ecológica no bioma Pantanal. A tabela apresenta informações taxonômicas (família, gênero, espécie), nomes populares e usos etnobotânicos, e as respectivas fontes bibliográficas utilizadas para embasamento.	376
Apêndice F - Categorias de risco de extinção adotadas pelas listas vermelhas da IUCN (International Union for Conservation of Nature) e do CNCFlora (Centro Nacional de Conservação da Flora – Brasil). As classificações indicam o nível de ameaça das espécies, variando de “Pouco Preocupante” a “Extinta”, além de incluir categorias como “Dados Insuficientes” e “Não Avaliada”. A IUCN adota padrões internacionais, enquanto o CNCFlora segue os mesmos critérios, podendo incluir subcategorias nacionais como “Regionalmente Extinta (RE)”.	450

Apêndice G - Distribuição das áreas (km²) da sub-região de Miranda (MS) por classe de estresse térmico humano em diferentes cenários do UTCI. São apresentadas a quantidade de células, área total por classe, percentual da classe (%_classe), média de área por célula, desvio padrão e coeficiente de variação (CV). Os valores referem-se aos cenários presentes (A–D) e futuro (E), considerando as categorias de estresse térmico conforme Matzarakis & Mayer (1996).

452

Apêndice H - Distribuição das áreas (km²) da área focal de restauração dentro das Terras Indígenas em Miranda (MS), por classe de estresse térmico humano e cenário UTCI. São apresentados os valores de área por classe, percentual relativo à própria área foco (%_classe) e em relação ao total da sub-região de Miranda (%_classe_foco_em_relação_a_Miranda), além da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV). Os dados referem-se aos cenários presentes (A–D) e futuros (E–F).

455

Apêndice I - Valores de área (km²) por categoria de estresse térmico humano na área foco, utilizados como base para os testes estatísticos. Os dados foram organizados por cenário UTCI (A–F) e representa a distribuição das classes “moderate heat stress”, “strong heat stress”, “very strong heat stress” e “extreme heat stress” na área focal selecionada. Esses valores foram utilizados nas análises comparativas (ANOVA, Kruskal-Wallis e Wilcoxon) entre os grupos de cenários presentes e futuros.

459

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

C°	Graus Celsius
CBD	<i>Convention on Biological Diversity</i> (Convenção de Diversidade Biológica)
CDS	Centro de Desenvolvimento Sustentável
CET	Conhecimento Ecológico Tradicional
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO₂	Dióxido de Carbono
CSV	Comma Separated Values
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
MapBiomass	Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil
MUPAN	Mulheres em Ação no Pantanal
MT	Mato Grosso
MS	Mato Grosso do Sul
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OIT	Organização Internacional do Trabalho
ONU	Organização das Nações Unidas
PCTs	Povos e Comunidades Tradicionais
PGTAs	Planos de Gestão Territorial e Ambiental
PL	Projeto de Lei

PLANAVEG	Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa
PNGATI	Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas
PROVEG	Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
QGIS	<i>Quantum GIS – Geographic Information System</i>
RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i> (Via de Concentração Representativa)
RAMSAR	Convenção sobre Zonas Úmidas
REDD+	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
SER	<i>Society for Ecological Restoration</i> (Sociedade para a Restauração Ecológica)
UCs	Unidade de Conservação da Natureza
UNB	Universidade de Brasília
UNGA	<i>United Nations General Assembly</i>
UTCI	<i>Universal Thermal Climate Index</i>
TIs	Terras Indígenas
WBG	<i>Wet Bulb Globe Temperature Index</i>

Sumário

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	xx
PARTE 1.....	24
1. INTRODUÇÃO GERAL	23
1.1. Definição do Problema e Justificativa da Tese.....	25
1.2. Abordagem contextualizada de temas importantes.....	28
1.3 Objetivos	50
1.4 Pergunta e Hipótese.....	51
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAL	54
PARTE 2.....	83
CAPÍTULO 1	81
NARRATIVA SOBRE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS	81
1. INTRODUÇÃO	83
2. MÉTODOS	84
3. ECOLOGIA DA RESTAURAÇÃO	87
4. RESILIÊNCIA ECOLÓGICA ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS	91
5. RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: PERSPECTIVAS ATUAIS E FUTURAS	94
7. REFERÊNCIAS.....	104
CAPÍTULO 2	119
NAVEGANDO NA INTERAÇÃO ENTRE RESTAURAÇÃO DE ECOSSISTEMAS, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SAÚDE HUMANA: ABORDANDO DESAFIOS COM UM ESTUDO DE CASO NA EUROPA CENTRAL.....	119
1. INTRODUÇÃO	120
2. A INFLUÊNCIA MÚTUA ENTRE A RESTAURAÇÃO DE ECOSSISTEMAS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	124

3. PROCURANDO SOLUÇÕES – COMO SE ADAPTAR ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PERSPECTIVA DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	128
4. CONCLUSÃO.....	145
5. REFERÊNCIAS	145
CAPÍTULO 3	158
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PANTANAL BRASILEIRO.....	158
1. INTRODUÇÃO	159
2. METODOLOGIA.....	161
3. RESULTADOS	177
4. DISCUSSÃO	215
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	223
6. REFERÊNCIAS.....	225
PARTE 3.....	237
CAPÍTULO 4.....	238
ECOLOGIA DA RESTAURAÇÃO E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES EM UM CENÁRIO DE INCERTEZAS NO PANTANAL	238
CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS.....	259
APÊNDICE	262
REFERÊNCIAS DO APÊNDICE	444
ANEXOS	465
REFERÊNCIAS DO ANEXO	471

PARTE 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Pantanal é uma das maiores e mais contínuas áreas úmidas interiores do mundo, caracterizando-se por um mosaico ecológico, moldado por fatores climáticos, ecológicos e humanos ao longo do tempo (Harris et al. 2005; Pott et al., 2011; Schulz et al., 2019; Tozato, 2017). Essa complexidade sustenta uma vasta gama de serviços ecossistêmicos, dos quais dependem populações humanas e biodiversidade. No entanto, pressões econômicas têm promovido o uso desordenado das terras no planalto circundante e, aliado à ausência de gestão territorial eficaz, têm permitido que o bioma fique cada vez mais exposto e vulnerável a diversas pressões antrópicas (Rotta et al., 2006; De Oliveira & Le Bourlegat, 2019).

Tais pressões são agravadas pelos efeitos das mudanças climáticas, que têm provocado a redução da precipitação e o aumento das temperaturas, sobretudo na transição da Amazônia Central para os biomas Cerrado e Pantanal (Marengo, 2001; Debortoli et al., 2015; Costa & Da Silva, 2021), onde ficam as cabeceiras dos cursos d'água que drenam para o Pantanal. Modelagens climáticas confirmam essas tendências para a região pantaneira, com projeções de secas prolongadas e eventos climáticos extremos com frequência crescente (Da Silva et al., 2014; Marques et al., 2021; Marengo et al., 2021).

Além disso, o desmatamento associado ao avanço do agronegócio e a recorrência de incêndios florestais têm gerado um dos piores colapsos ambientais das últimas décadas (Silva, 2022). Dados do MapBiomas (2022) revelam uma perda de 76% da superfície de água e campos inundáveis do Pantanal desde 1985. Essa redução intensifica o risco de queimadas e acarreta perdas significativas para a biodiversidade e as populações locais (Acseirad, 2006; Jacobi et al., 2021). Mudanças no uso da terra, como o barramento de cursos d'água e a conversão de áreas para monoculturas e pecuária, impactam diretamente o fluxo hídrico da Bacia do Rio Paraguai e alteram o regime de evapotranspiração, contribuindo para a elevação da temperatura e a diminuição da precipitação local (Ikeda-Castrillon et al., 2022; Pinto et al., 2011; Malhi et al., 2008; Rocha et al., 2017).

O 6º Relatório do IPCC (2023) projeta que um aumento da temperatura global entre 1,5°C e 2°C, caso não seja mitigado, pode agravar a degradação dos ecossistemas da América do Sul, com maior mortalidade de plantas e regressão florestal. A expansão agrícola no sudoeste do continente é uma das pressões identificadas (IPCC, 2018; 2023). As respostas aos impactos das mudanças climáticas estão diretamente ligadas ao conceito de desenvolvimento sustentável, como definido pelo Relatório Brundtland (CMMAD, 1991), que busca atender às necessidades do presente sem comprometer as futuras gerações. A Agenda 2030 da ONU estabelece, por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), diretrizes que integram ação climática, justiça social e conservação ambiental (UNGA, 2015; Silva, 2018; Kronemberger, 2019).

Em especial, o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), o ODS 13 (Ação Climática), o ODS 14 (Vida na Água), e o ODS 15 (Vida Terrestre) são reforçados pela “Década da Restauração dos Ecossistemas” (2021–2030), estabelecida pela Assembleia Geral das Nações Unidas. O ODS 3 busca assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades; o ODS 13 busca tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos; o ODS 14 visa conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável; e o ODS 15 trata da proteção, recuperação e promoção do uso sustentável dos ecossistemas terrestres, incluindo o manejo sustentável de florestas, combate à desertificação, reversão da degradação da terra e contenção da perda de biodiversidade (UNGA, 2019). Essa iniciativa visa restaurar ecossistemas degradados e criar estratégias eficazes de enfrentamento à crise climática (Fischer et al., 2021; UNGA, 2019). A restauração, além de promover o equilíbrio ambiental, traz benefícios socioeconômicos às comunidades locais (Brancalion et al., 2012a; Silva et al., 2016; Brancalion et al., 2022). No contexto local, a mobilização de instituições técnico-científicas e da sociedade civil fortaleceu o Pacto pela Restauração do Pantanal (Leão et al., 2022). A proposta articula ações participativas que envolvem as populações pantaneiras no mapeamento de vulnerabilidades ecológicas, no planejamento de intervenções e no fortalecimento de cadeias produtivas sustentáveis, contribuindo para a

adaptação climática e a conservação da biodiversidade regional (Brasil 2017). Além disso, diretrizes práticas propostas por redes multissetoriais indicam que a restauração no Pantanal deve ser orientada por princípios ecossistêmicos e socioculturais, respeitando os usos tradicionais e o conhecimento local, e promovendo ações adaptadas às diferentes fitofisionomias, regimes hidrológicos e contextos territoriais do bioma. Conforme aponta o manual técnico do Pacto pela Restauração do Pantanal (MUPAN, 2025), o engajamento das comunidades locais é fundamental para garantir a efetividade e a sustentabilidade das ações, sendo recomendadas estratégias como seleção participativa de áreas prioritárias, uso de indicadores biofísicos e sociais para o monitoramento e a valorização de práticas produtivas de base ecológica (MUPAN, 2025).

1.1. Definição do Problema e Justificativa da Tese

A ausência de ações efetivas de restauração ecológica compromete diretamente a adaptação às mudanças climáticas por parte dos povos e comunidades tradicionais. Quando os ecossistemas não são recuperados, observa-se a intensificação de diversos problemas socioambientais, com impactos negativos sobre a biodiversidade, os modos de vida e a resiliência dos territórios:

1. Fragilidade ecológica: Ecossistemas degradados tornam-se mais vulneráveis a eventos climáticos extremos, como secas e inundações, agravando os riscos para populações que dependem diretamente desses ambientes (Hobbs & Norton, 1996; Finlayson et al., 2005; Maxwell et al., 2019; Fahrig, 2019).
2. Escassez de recursos naturais: A degradação contínua e a ausência de restauração afetam solos, florestas e recursos hídricos, comprometendo práticas tradicionais como agricultura, pesca e coleta de produtos florestais não madeireiros (Brancalion et al., 2010; Guerra et al., 2014; Guerra 2018; Manzatto et al., 2002).
3. Perda de conhecimentos tradicionais: A destruição dos ecossistemas contribui para a marginalização de saberes locais, fundamentais para a

gestão sustentável dos territórios. A restauração, nesses casos, pode promover a revitalização cultural e fortalecer a governança comunitária (Reyes-García et al., 2019; Lopez-Maldonado & Berkes, 2017; Long et al., 2003; Wehi & Lord, 2017).

4. Exclusão e desigualdade: A falta de políticas públicas inclusivas pode excluir povos tradicionais das decisões relacionadas à adaptação climática, reforçando injustiças socioambientais (Howitt et al., 2011). Além disso, os processos de governança e a dinâmica de poder influenciam diretamente os resultados sociais e ecológicos da restauração (Löfqvist et al., 2023).

1.1.2 Estratégia de áreas delimitadas para restauração ecológica

Alcançar o desenvolvimento sustentável, preservando a integridade dos ecossistemas, exige a definição de áreas prioritárias para a restauração ecológica. Estudos indicam que a adoção de ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o envolvimento de conhecimento local qualificado são essenciais para orientar políticas e intervenções mais eficazes (Kuhnert et al., 2010; Lee et al., 2012; Martin et al., 2012; Funk et al., 2019; Strassburg et al., 2020). No Pantanal, a delimitação dessas áreas é estratégica frente aos seguintes desafios:

1. Conservação da biodiversidade: o Pantanal é uma das maiores áreas úmidas do mundo (Matthews 2013; Junk & De Cunha 2005) e apresenta alta riqueza de espécies, embora ainda existam lacunas no conhecimento sobre sua flora (Pott & Pott, 2004; Oliveira et al., 2016). A restauração pode preservar habitats críticos para espécies ameaçadas e endêmicas (Sartori et al., 2012; Tambosi et al., 2014; Simonson et al., 2021).
2. Proteção contra incêndios: os incêndios florestais no bioma têm se intensificado (Libonati et al., 2020; Tomas et al., 2021; Marengo et al., 2022). A ocorrência frequente de incêndios florestais e de áreas de vegetação, muitas vezes agravada pelas mudanças climáticas e práticas humanas, ameaça a biodiversidade e a estrutura dos ecossistemas do bioma (Schulz et al., 2019). A restauração pode criar

corredores vegetacionais e zonas úmidas que funcionam como barreiras naturais (Wissmar & Beschta, 1998), permitindo maior resiliência do bioma frente aos incêndios.

3. Recuperação de ecossistemas aquáticos: a degradação dos corpos d'água devido à poluição, à alteração de cursos d'água e à exploração de recursos hídricos dificulta a recuperação dos sistemas aquáticos e prejudica espécies que dependem dessas áreas (Schulz et al., 2019). A restauração da vegetação ripária melhoraria a qualidade da água e, por consequência, protegeria a fauna aquática (Simonson et al., 2021; Periotto & Martensen, 2019).
4. Proteção de aves migratórias: os habitats essenciais para aves migratórias estão sob risco devido à perda de áreas de descanso e alimentação, influenciada por atividades humanas e mudanças ambientais, o que ameaça essas populações migratórias (Schulz et al., 2019). O Pantanal, sendo uma rota importante de migração, abriga diversas espécies de aves protegidas pela Convenção de Ramsar (Matthews, 2013). A restauração garante a conservação desses habitats (Carey, 2009; Mastrantonis et al., 2019).
5. Turismo sustentável: O crescimento desordenado do turismo traz pressões adicionais sobre o ecossistema, afetando a degradação de sítios naturais, causando deslocamento de comunidades tradicionais, além de gerar riscos de impactos ambientais se não houver uma gestão adequada (Schulz et al., 2019). A restauração pode fortalecer o ecoturismo, gerando benefícios econômicos para comunidades locais (Tortato et al., 2021; Mossaz et al., 2015).

1.1.3 Contribuição da restauração ecológica

Schulz et al., (2019) enfatizam que o Pantanal enfrenta desafios complexos que exigem ações coordenadas, uma compreensão aprofundada do sistema e o envolvimento de diferentes saberes para garantir sua preservação futura. Apesar da presença de legislações nacionais, como o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), o Pantanal ainda carece de instrumentos legais

específicos que garantam a sustentabilidade do bioma (Irigaray et al., 2011; Irigaray & Araújo, 2018). Além de seu papel ecológico, a restauração contribui para:

1. Mitigação climática: ecossistemas saudáveis capturam e armazenam carbono (Chazdon, 2008; Locatelli et al., 2015; Meli et al., 2017). A recuperação em larga escala pode aumentar significativamente os estoques de carbono (Montagnini & Piotto, 2011; Littleton et al., 2021).
2. Adaptação às mudanças climáticas: ecossistemas restaurados tornam-se mais resilientes a eventos extremos, como secas e inundações (Aronson et al., 2010; Brancalion et al., 2012b; Taillardat et al., 2020).
3. Sinergias ecológicas: a restauração favorece a diversidade de espécies, a qualidade da água e a resiliência ecológica (Suding et al., 2015; Ferronato & de Souza, 2023; Scaramuzza et al., 2016).

Portanto, identificar áreas prioritárias para restauração ecológica no Pantanal transfronteiriço é fundamental não apenas para conservar a biodiversidade, mas também para garantir justiça ambiental, promover o bem-estar humano e fortalecer a adaptação às mudanças climáticas em um dos biomas mais estratégicos do Brasil e da América do Sul.

1.2. Abordagem contextualizada de temas importantes

Esta seção trata-se de uma abordagem integrada de temas teóricos e contextuais que, embora inicialmente distintos, são fundamentais para compreender a problemática central desta tese. A escolha e a organização dos tópicos foram orientadas pela necessidade de construir uma abordagem teórica que articule os aspectos ecológicos, climáticos, sociais e políticos que influenciam a seleção de áreas prioritárias para a restauração ecológica no Pantanal (Alencar et al., 2019; McOwen et al., 2021).

Inicialmente, serão abordados os impactos das mudanças climáticas no Brasil, com ênfase especial no Pantanal, considerando os efeitos sobre a dinâmica hidrológica, o aumento de eventos extremos e os incêndios, que intensificam a degradação ambiental e afetam diretamente a biodiversidade e os modos de vida locais (Thielen et al., 2020; Simoes et al., 2024; Szabo et

al., 2022). Em seguida, discute-se a importância ecológica das áreas úmidas, destacando o Pantanal como uma das maiores zonas úmidas continentais do planeta, com foco na sua dinâmica ecológica, nos serviços ecossistêmicos prestados e nas pressões antrópicas que comprometem suas funções (Mitsch & Gosselink, 2015; Prasad et al., 2002; Maltby et al., 2011; Finlayson & Davidson, 1999).

Nesse contexto, destaca-se também o papel estratégico dos Povos e Comunidades Tradicionais (PCTs), cuja contribuição na conservação e na recuperação de ecossistemas é cada vez mais reconhecida, especialmente por meio da valorização de seus conhecimentos tradicionais (Reyes-García et al., 2019; Sena et al., 2021; Urzedo et al., 2020a) (PCT - referências dos subtemas 1.2.3 e 1.2.3.1). Como marco conceitual integrador desta abordagem, será discutida a noção de resiliência (socioecológica), enfatizando as inter-relações entre os sistemas naturais e humanos e a importância da participação comunitária nos processos de restauração ecológica (Holling, 1973; Folke, 2006; Berkes et al., 2003).

Por fim, a seção aborda os indicadores de degradação e os resultados a serem almejados pela implementação de políticas de restauração no Brasil, com ênfase nos avanços, limitações e lições aprendidas (MapBiomas, 2022; Brancalion & van Melis, 2017; Chazdon et al., 2017). Essa fundamentação teórica tem como objetivo fornecer as bases conceituais necessárias para a compreensão da metodologia, dos resultados e das análises que serão detalhados nos capítulos subsequentes desta tese.

1.2.1 Restauração Ecológica no contexto das Mudanças Climáticas

A restauração ecológica é cada vez mais reconhecida como uma estratégia fundamental para aumentar a resiliência dos ecossistemas às mudanças climáticas (McOwen et al., 2021). Quando planejada e implementada considerando os riscos climáticos, a restauração pode ajudar os ecossistemas a resistir melhor, recuperar-se e adaptar-se a distúrbios relacionados ao clima (McOwen et al., 2021; Hobbs et al., 2006).

Entre os principais mecanismos pelos quais a restauração aumenta a resiliência, destacam-se o aumento da diversidade de espécies e a melhoria

da conectividade dos habitats, atributos que auxiliam os ecossistemas a resistirem a alterações e a se recuperarem de perturbações (Alencar et al., 2019; Timpane-Padgham et al., 2017; Hobbs et al., 2006). O uso de abordagens adaptativas, como a seleção de espécies com maior tolerância climática e o monitoramento contínuo dos resultados, permite que os projetos de restauração sejam ajustados em função das condições ambientais em mudança, aumentando as chances de sucesso a longo prazo (McOwen et al., 2021; Steane et al., 2015; Dickson et al., 2019). Além disso, a definição explícita da resiliência como um objetivo central no planejamento e monitoramento tem sido recomendada como estratégia essencial (McOwen et al., 2021; Alencar et al., 2019; Timpane-Padgham et al., 2017; Hobbs et al., 2006).

A restauração também fortalece os serviços ecossistêmicos, como sequestro de carbono, retenção de água e estabilização do solo, todos fundamentais para a adaptação climática (Zhang et al., 2024; Casazza et al., 2021). No entanto, os benefícios desses serviços podem ser reduzidos por eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, reforçando a necessidade de estratégias de restauração otimizadas para o clima (Zhang et al., 2024; Casazza et al., 2021).

O uso de estratégias como o "climate-adjusted provenancing", que consiste na seleção de material vegetal com características genéticas adaptadas às condições climáticas futuras, tem sido destacado como promissor para aumentar o sucesso da restauração em longo prazo (Steane et al., 2015, Arguelho et al. 2025). Outras estratégias incluem o engajamento das comunidades locais e a ampliação das ações em escala de paisagem e tempo (Timpane-Padgham et al., 2017; Casazza et al., 2021; Hobbs et al., 2006), além da adoção de modelos adaptativos baseados em dados e informações em tempo real (Dickson et al., 2019).

No Brasil, os impactos das mudanças climáticas já são evidentes, especialmente no Pantanal. A região enfrenta eventos extremos mais frequentes, como precipitações intensas e secas prolongadas, impulsionados por alterações nas temperaturas da superfície dos oceanos globais (Thielen et al., 2020). Essas mudanças têm causado a ruptura dos ciclos naturais de inundação, ameaçando a biodiversidade e o funcionamento dos

ecossistemas (Thielen et al., 2020). Nas últimas três décadas, o Pantanal apresentou redução de 9,9% na área de corpos d'água, 5,7% em áreas úmidas e 3,0% em florestas, com aumento correspondente de pastagens. A diminuição da precipitação e da umidade da vegetação reforçam a vulnerabilidade regional (Simoes et al., 2024). Além disso, as secas extremas e as atividades humanas resultaram em incêndios catastróficos, como o ocorrido em 2020, quando quase um terço do Pantanal foi queimado. Muitas dessas áreas afetadas possuem baixo potencial de regeneração natural e necessitam de ações ativas de restauração (Szabo et al., 2022).

No âmbito das estratégias nacionais, o Brasil assumiu o compromisso de restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, visando equilibrar a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e o desenvolvimento socioeconômico (MMAMC, 2024; Brasil, 2017). Modelagens estratégicas têm identificado áreas prioritárias para a restauração em todo o território nacional, incluindo o Pantanal, com o objetivo de maximizar a conectividade de habitats, beneficiar milhares de espécies e sequestrar quantidades significativas de carbono (Penhacek et al., 2025).

Estudos apontam que ampliar a restauração para todos os biomas, e não apenas para florestas tropicais, pode dobrar a área restaurada e aumentar o sequestro de carbono em mais de 40%. Contudo, para atingir as metas climáticas imediatas, é necessário combinar esforços de conservação e restauração (Hill et al., 2023; Dickson et al., 2019). Apesar desses avanços, a restauração em larga escala ainda enfrenta desafios consideráveis. A fraca integração entre as políticas climáticas e de restauração, os retrocessos na governança ambiental e a falta de incentivos econômicos dificultam a implementação efetiva (Aragão et al., 2024; McOwen et al., 2021; Alencar et al., 2019). Além disso, aspectos técnicos e sociais, como a necessidade de considerar o contexto ecológico local, os conhecimentos tradicionais e a participação dos diferentes atores sociais é fundamental para o sucesso das ações (Steane et al., 2015; Zhang et al., 2024; Casazza et al., 2021).

A gestão do fogo também se destaca como uma prioridade na região. A restauração e a prevenção de incêndios devem ser especialmente priorizadas, adotando-se a restauração passiva nas áreas com alto potencial

de regeneração natural e intervenções ativas onde for necessário, considerando os custos significativos associados (Szabo et al., 2022).

Por fim, projetos que integram considerações climáticas (por exemplo, escolha de espécies adequadas, promoção da conectividade e monitoramento adaptativo) têm demonstrado maior resiliência e sucesso em longo prazo (McOwen et al., 2021; Timpone-Padgham et al., 2017). No entanto, muitos projetos ainda carecem de uma integração abrangente das dimensões climáticas, enfrentando barreiras relacionadas a políticas públicas, financiamento e limitações técnicas, especialmente em países em desenvolvimento (Alencar et al., 2019; Thielen et al., 2020; Szabo et al., 2022; Schulz et al., 2019).

Os temas abordados neste texto, referentes aos impactos das mudanças climáticas no Brasil e no Pantanal, bem como o papel estratégico da restauração ecológica na mitigação e adaptação a esses impactos, serão aprofundados nos capítulos 1, 2 e 3 desta tese.

1.2.2. Áreas Úmidas e o Pantanal Brasileiro

1.2.2.1 Importância e pressões em Áreas Úmidas

As áreas úmidas são ecossistemas de transição entre ambientes terrestres e aquáticos, caracterizados por solos encharcados ou cobertos por águas rasas (Mitsch & Gosselink, 2015). Esses ecossistemas funcionam como filtros naturais, melhorando a qualidade da água através da remoção de poluentes e da regulação do fluxo de água, o que ajuda a mitigar cheias e secas (Maltby et al., 2011; McLaughlin & Cohen, 2013; Viaroli et al., 2016; Janse et al., 2019; Kushwaha et al., 2025). Elas desempenham um papel essencial na regulação hídrica, contribuindo para a recarga de aquíferos, mitigação de enchentes e retenção de sedimentos e nutrientes (Prasad et al., 2002). As áreas úmidas amortecem os níveis dos aquíferos regionais, armazenam águas das cheias e regulam os microclimas, sendo que essas funções muitas vezes persistem mesmo em paisagens perturbadas ou urbanizadas (McLaughlin & Cohen, 2013; Viaroli et al., 2016; Janse et al., 2019).

As áreas úmidas, por sua vez, fornecem múltiplos serviços ecossistêmicos e possuem importância ecológica e econômica distintas, dependendo de sua localização e extensão (Prasad et al., 2002). Elas disponibilizam recursos como peixes, alimentos e materiais, que são especialmente importantes em regiões com alta densidade populacional e também oferecem benefícios culturais, espirituais e recreativos às comunidades locais (Maltby et al., 2011; Viaroli et al., 2016; Huang et al., 2024; Kushwaha et al., 2025). No entanto, permanecem negligenciadas nas políticas de conservação, sendo frequentemente sobreexploradas e comparadas a “rins” do planeta, dada sua capacidade de filtrar a água e sustentar funções ecológicas críticas (Mitsch & Gosselink, 1986 *apud* Mitsch et al., 2009).

Alterações nas condições hidrológicas afetam diretamente a composição da biota e a produtividade dos ecossistemas, interferindo na oferta de serviços ambientais (Prasad et al., 2002). Apesar de sua importância, a biodiversidade aquática em áreas como pântanos, córregos e rios permanece subprotegida. Práticas sustentáveis de manejo são urgentes para minimizar perdas irreversíveis (Groombridge & Jenkins, 1998; Finlayson & Davidson, 1999).

Estima-se que de 64 a 71% das áreas úmidas globais tenham sido perdidas desde 1900, com maior impacto nas latitudes norte e crescente pressão sobre áreas tropicais e subtropicais desde os anos 1950. Reconstruções mais recentes sugerem uma redução líquida de 21% da área global de zonas úmidas desde 1700, principalmente devido à conversão em terras agrícolas (Fluet-Chouinard et al., 2023). Pelo menos 33% das áreas úmidas globais foram degradadas até 2009 (Hu et al., 2017). A perda estimada é de até 65% na América do Norte e Europa, 27% na Ásia, 6% na América do Sul e 2% na África (Finlayson & Davidson, 1999). Os principais fatores que causam a degradação de áreas úmidas são:

- Agricultura: responsável por cerca de 25% da perda global de áreas úmidas (Davidson, 2014; Ballut-Dajud et al., 2022; Let & Pal, 2022; Kundu et al., 2024);
- Urbanização e indústria: a expansão urbana e o desenvolvimento industrial são contribuintes significativos,

especialmente nos países em desenvolvimento (Ballut-Dajud et al., 2022; Let & Pal, 2022; Kundu et al., 2024);

- Mudanças climáticas: aceleram indiretamente as perdas, especialmente nos países desenvolvidos (Let & Pal, 2022; Kundu et al., 2024); e
- Outros fatores: a aquicultura, a construção de barragens e o turismo também desempenham papéis, com impactos que variam conforme a região e o estado de desenvolvimento (Ballut-Dajud et al., 2022; Let & Pal, 2022; Kundu et al., 2024).

1.2.2.2 Pantanal Brasileiro: ecologia, hidrologia e ameaças

Segundo Silva e Abdon (1998), a planície pantaneira ocupa 138.183 km², distribuída por 16 municípios nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Desse total, 48.865 km² (35,36%) estão no Mato Grosso e 89.318 km² (64,64%) no Mato Grosso do Sul. As sub-regiões mais extensas são Paiaguás (19,6%), Nhecolândia (19,48%), Barão de Melgaço (13,15%) e Poconé (11,63%), que juntas somam 88,04% da área total do Pantanal brasileiro, o equivalente a aproximadamente 121.635 km².

Os fatores mais importantes para a delimitação do Pantanal e da planície do Rio Paraguai são a frequência e a extensão das inundações sazonais, bem como a topografia da região. As áreas que sofrem inundações regulares inter e intraanuais estão incluídas nos limites da planície (Silva & Abdon, 1998). O grau de conexão entre canais fluviais, planícies de inundação e corpos lânticos (águas paradas) é crucial para a compreensão e mapeamento da planície, pois essas conexões determinam os padrões sazonais de inundação (Drago et al., 2008a; b).

A planície da Bacia do Alto Paraguai, caracterizada por megaleques fluviais e baixa amplitude altimétrica, é recorrentemente reconhecida como a área fisiográfica do Pantanal (Hiran et al., 2009). O Alto Rio Paraguai, no Pantanal, é dividido em várias zonas com base na morfologia do canal-planície de inundação, no padrão do canal e na função hidrológica, assim, planícies estreitas e gargalos geológicos criam efeitos de remanso, retardando as ondas de inundação e prolongando as inundações (Stevaux et

al., 2020; Assine et al., 2009). A planície inclui padrões fluviais meândricos e distributários, bacias de inundação e áreas de sedimentação ativa, seus fluxos transbordantes e rompimentos de diques contribuem para a expansão sazonal das áreas inundadas (Assine et al., 2009; Merino & Assine, 2019; Assine et al., 2015).

Estima-se que as mudanças climáticas causarão uma redução média anual de 44,07% nas vazões da Bacia do Alto Paraguai, impactando a gestão dos recursos hídricos e o ecossistema do Pantanal (Ferreira et al., 2024). Outros fatores, como barragens, alteram significativamente os indicadores hidrológicos, potencialmente alterando a hidrologia, os padrões de sedimentos e o ecossistema (Ely et al., 2020). Com base nesses dados, a conservação do Pantanal e de suas áreas úmidas é estratégica para a formulação de políticas públicas voltadas à proteção da biodiversidade e à gestão sustentável dos recursos naturais, especialmente frente aos crescentes desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela expansão do uso da terra.

O Pantanal brasileiro, como parte deste cenário global, representa uma interseção ecológica entre a Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Cerrado e o Chaco paraguaio (Moretti & Gonçalves, 2020). O Pantanal abriga uma vida selvagem abundante, incluindo muitas espécies raras e ameaçadas de extinção, como onças e aves aquáticas. A biodiversidade do Pantanal é altamente dependente do pulso natural de cheias, tornando-a vulnerável às alterações hidrológicas (Alho & Silva, 2012; Merino & Assine, 2019). No entanto, a maioria das espécies presentes nesse bioma não é exclusiva do Pantanal, mas também ocorre em biomas vizinhos (Mittermeier et al., 1990; Alho & Silva, 2012; Merino & Assine, 2019). Esse mosaico biogeográfico abriga elevada diversidade de espécies e serviços ecossistêmicos, mas sofre com ocupações e impactos ambientais expressivos.

As principais ameaças incluem o desmatamento, a expansão agrícola, o desenvolvimento de energia hidrelétrica e o assoreamento dos rios, especialmente o Taquari, que altera a hidrologia e degrada os habitats (Pott & Pott, 2004; Alho & Reis, 2017; Kandus et al., 2018; Boin et al., 2019; Schulz et al., 2019; Ikeda-Castrillon et al., 2022). A pecuária bovina existe há mais de 200 anos, com impacto limitado na vegetação, exceto por mudanças

na estrutura das pastagens. No entanto, a intensificação recente e o uso da terra nas terras altas circundantes aumentam os riscos de perda de biodiversidade e contaminação da água (Pott & Pott, 2004; Boin et al., 2019). Os recursos pesqueiros e os meios de subsistência locais estão cada vez mais expostos a pressões ambientais e socioeconômicas (Alho & Reis, 2017).

1.2.3 Povos e Comunidades Tradicionais no Contexto da Restauração Ecológica

Povos e Comunidades Tradicionais (PCTs) no Brasil representam uma diversidade de grupos com identidades culturais, sociais e territoriais únicas (Brasil 2007, Decreto Nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007). Essas comunidades (incluindo povos indígenas, quilombolas, populações ribeirinhas e outros) enfrentam desafios distintos relacionados à saúde, direito à terra e reconhecimento, além de desempenharem um papel significativo na paisagem cultural e ambiental do Brasil.

Decreto Nº 6.040/2007 define que os PCTs são:

“grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição (Brasil, 2007, art.3, §1).”

Assim, os PCTs no Brasil incluem povos indígenas (mais de 300 grupos étnicos), quilombolas (descendentes de africanos escravizados), pantaneiros, comunidades ribeirinhas, caiçaras, quebradeiras de coco babaçu, seringueiros e outros, cada um com tradições e identidades regionais específicas (de Castro Campos et al., 2020; Silva et al., 2021). Grupos como os Romani (Ciganos) ganharam recentemente reconhecimento como TPCs, levando a novas formas de expressão cultural e engajamento político, incluindo reivindicações bem-sucedidas de direitos à terra (Dolabela et al. 2021). As identidades PCTs (ex: indígenas e geraizeiros) se desenvolveram ao longo dos séculos, moldadas por práticas culturais,

ocupação territorial e transmissão intergeracional de conhecimento (de Castro Campos et al., 2020).

Os PCTs enfrentam desafios contínuos para garantir direitos e regularização fundiária, muitas vezes resistindo ao deslocamento e à marginalização por meio de ações de base, como autodemarcação e advocacia coletiva (Chiaravalloti, 2019; Costa Filho & Vianna Mendes, 2020; Vega et al., 2022). A regressão política em período recente, como a revogação de proteções legais e cortes orçamentários, aumentou a vulnerabilidade dos PCTs, ameaçando os seus direitos e o acesso à terra e aos recursos (Costa Filho, 2020). As comunidades tradicionais desempenham um papel crucial na proteção de ecossistemas, com seus territórios representando porções significativas de terras preservadas, pois suas práticas sustentáveis são vitais para os esforços de conservação ambiental (Silva et al., 2021).

Os PCTs usam o conhecimento ecológico tradicional (CET) para o gerenciamento de recursos, como queima controlada, plantio seletivo e colheita sustentável, aumentando a biodiversidade e a resiliência do ecossistema (Reyes-García et al., 2019; Welch & Coimbra Jr, 2019; Balée et al., 2020; Sena et al., 2021; Porto Junior et al., 2021). Suas práticas, como o manejo do fogo pelos Xavante no Cerrado, por exemplo, têm demonstrado apoiar o reflorestamento e a restauração da paisagem (Welch & Coimbra Jr, 2019). Comunidades indígenas e locais estão cada vez mais envolvidas em mercados de restauração, como a coleta de sementes nativas para projetos de reflorestamento. Essas atividades proporcionam oportunidades econômicas, empoderam mulheres e fortalecem organizações locais, além de se alinharem aos sistemas de conhecimento tradicionais (Reyes-García et al., 2019; Urzedo et al., 2020a; Sena et al., 2021).

A incorporação do conhecimento dos PCTs no planejamento da restauração (como a seleção de espécies com base na utilidade local) pode maximizar os serviços ecossistêmicos e garantir que os esforços de restauração sejam benéficos do ponto de vista ecológico e social (Sena et al., 2021; Reyes-García et al., 2019). A participação da comunidade está ligada a um maior sucesso em longo prazo e ao compromisso com as áreas restauradas (Reyes-García et al., 2019). Dessa forma, as atividades de

restauração podem reforçar a identidade cultural, empoderar grupos marginalizados e apoiar a transmissão do conhecimento tradicional, especialmente quando as instituições e os costumes locais são respeitados (Sinay et al., 2019; Urzedo et al., 2020a; Vachiano et al., 2024).

1.2.3.1 Políticas Públicas para Povos Indígenas no Brasil

A participação dos Povos Indígenas em ações de restauração ecológica no Brasil está diretamente relacionada à garantia de seus direitos territoriais e ao reconhecimento das suas formas próprias de gestão ambiental. Estudos demonstram que a segurança jurídica sobre os territórios indígenas reduz significativamente o desmatamento e fortalece a conservação florestal, sendo um fator-chave para o sucesso de iniciativas de restauração ecológica e mitigação das mudanças climáticas (Baragwanath & Bayi, 2020; Lima et al., 2024). Nesse sentido, o Estatuto do Índio (Lei nº 6.001/1973), embora ainda em vigor, tem sido amplamente criticado por sua perspectiva assimilacionista e encontra-se em debate para ser substituído por um novo Estatuto dos Povos Indígenas, que reconheça plenamente a autonomia, os modos de vida e os saberes tradicionais desses povos. Complementarmente, a Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT), da qual o Brasil é signatário desde 2002, estabelece o direito à consulta prévia, livre e informada sempre que medidas administrativas ou legislativas afetem diretamente os povos indígenas, princípio essencial para assegurar sua participação ativa em políticas de restauração. No entanto, a insegurança jurídica e ameaças a direitos territoriais, como o PL 490/2007 e a tese do marco temporal, colocam em risco não apenas o bem-estar das comunidades indígenas, mas também os esforços de conservação e a biodiversidade nos territórios tradicionalmente ocupados (Baragwanath & Bayi, 2020; Lima et al., 2024).

Além disso, a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI), instituída em 2012, representa um avanço institucional ao promover a valorização dos conhecimentos tradicionais, o fortalecimento da governança indígena e o uso sustentável dos recursos naturais em seus territórios. A PNGATI foi concebida para respeitar a

autonomia sociocultural indígena, apoiando suas formas próprias de territorialidade e bem-estar coletivo, além de promover a qualidade de vida de forma sustentável nas terras indígenas (Castro, 2016; Comandulli, 2016; Van Velthem Linke et al., 2020; Fanzeres et al., 2025). A política vincula o desenvolvimento nas terras indígenas ao uso sustentável dos recursos naturais, buscando equilibrar a conservação com as necessidades e os direitos das comunidades indígenas (de Oliveira et al., 2017; Costanti & Nogueira, 2018; Porto Junior et al., 2021). A Política também valoriza o conhecimento tradicional, integrando práticas culturais e saberes locais nas estratégias de gestão ambiental e nas ações de restauração ecológica (Castro, 2016; Porto Junior et al., 2021; Fanzeres et al., 2025).

O principal instrumento para a implementação da PNGATI são os Planos de Gestão Territorial e Ambiental (PGTAs), desenvolvidos de forma colaborativa com as comunidades indígenas, e que funcionam como ferramentas estratégicas para o uso sustentável da terra e dos recursos naturais (Comandulli, 2016; Van Velthem Linke et al., 2020; Fanzeres et al., 2025). Instrumentos participativos, como o etnomapeamento, também são incentivados, permitindo diagnósticos, monitoramentos e planejamentos que reflitam as perspectivas indígenas e os padrões de uso da paisagem (Castro, 2016; Comandulli, 2016; Van Velthem Linke et al., 2020).

Apesar desses avanços, desafios persistem na implementação efetiva da PNGATI. Conflitos legais e institucionais, como a sobreposição de territórios e a aplicação fragmentada de políticas públicas, podem gerar riscos à conservação e ao uso sustentável desses territórios (Arantes, 2016; Fanzeres et al., 2025). Por outro lado, estudos apontam que o fortalecimento da capacidade de gestão indígena tem contribuído para a redução do desmatamento e para a conservação da biodiversidade, sendo os custos de proteção florestal geralmente menores do que os de restauração posterior (Costanti & Nogueira, 2018; Rorato et al., 2022). Contudo, as Terras Indígenas continuam enfrentando crescente vulnerabilidade ambiental devido a pressões externas, reforçando a necessidade de fortalecimento contínuo da PNGATI e de políticas correlatas (Rorato et al., 2022). Muitas políticas e projetos de restauração mencionam a participação indígena, mas a inclusão substantiva (em que os Povos Indígenas codirigem, lideram e se beneficiam

diretamente das ações de restauração) ainda é rara. Os melhores resultados são alcançados quando os Povos Indígenas possuem influência real nas etapas de planejamento, execução e monitoramento, e quando suas instituições tradicionais são reconhecidas e respeitadas (Reyes-García et al., 2019; Tran et al., 2020; Santini & Miquelajauregui et al., 2022; Dawson et al., 2021; 2024; Rosa et al., 2024).

A Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Proveg, Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017) e seu instrumento de implementação, o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg, Portaria Interministerial nº 230, de 14 de novembro de 2017, Brasil 2017), apresentam diretrizes importantes para a restauração em larga escala, mas carecem de mecanismos explícitos que garantam o protagonismo indígena, a proteção dos direitos territoriais ou a integração efetiva do Conhecimento Ecológico Tradicional (CET) (Lord & Wehi, 2017; Hall et al., 2020; Robinson et al., 2021; Grenz & Armstrong, 2023; Rosa et al., 2024). Da mesma forma, a Década da Restauração dos Ecossistemas (2021–2030), estabelecida pela ONU, oferece uma oportunidade estratégica para fortalecer o protagonismo indígena nos processos de restauração, a implementação nacional dessa agenda ainda não assegura a centralidade dos direitos territoriais e dos saberes tradicionais nos projetos (Tran et al., 2020; Dawson et al., 2021; 2024). Em muitas regiões do país, a participação indígena em planos estaduais ou municipais de restauração ocorre de forma fragmentada e inconsistente, dependendo muitas vezes da existência de instrumentos locais de gestão ambiental ou de parcerias com atores técnicos comprometidos (Reyes-García et al., 2019; Hall et al., 2020; Robinson et al., 2021; Grenz & Armstrong, 2023). Avançar na efetiva inclusão dos povos indígenas nos programas de restauração exige reconhecer suas terras como territórios de vida e incluir sua autonomia, saberes e prioridades no cerne das políticas públicas ambientais (Baragwanath & Bayi, 2020; Lima et al., 2024).

Nos últimos anos, os Povos Indígenas também têm ampliado sua atuação em mercados emergentes de restauração e serviços ecossistêmicos, como os programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), iniciativas de REDD+ e projetos de créditos de carbono, nos quais o protagonismo indígena tem sido cada vez mais reconhecido. A participação indígena em

redes de sementes nativas tem gerado benefícios socioeconômicos, com destaque para a geração de renda, o fortalecimento de organizações locais e o empoderamento de mulheres e jovens. Entre 2018 e 2021, por exemplo, 997 coletores de sementes no Brasil — sendo 46% provenientes de grupos marginalizados — geraram mais de US\$1,01 milhão em renda, com 23% dessas pessoas dependendo exclusivamente da coleta de sementes para seu sustento (Padovezi et al., 2024). As mulheres representam a maioria dos coletores em algumas redes (até 55%), e sua atuação tem contribuído para o empoderamento feminino e a ampliação de oportunidades para os jovens (Urzedo et al., 2020b). Essas redes também desempenham um papel essencial no fortalecimento das organizações locais, promovendo o mapeamento territorial, o protagonismo comunitário e a capacidade de liderança (Urzedo et al., 2020b). Além disso, as redes de sementes nativas têm impulsionado inovações sociais, inspirando mudanças políticas e permitindo que comunidades locais co-desenvolvam estratégias de restauração que valorizem o conhecimento tradicional e respeitem a autonomia dos povos indígenas (Urzedo et al., 2021; Padovezi et al., 2024).

No entanto, esses grupos ainda enfrentam desafios de adaptação às exigências de mercado e de gestão de negócios, o que reforça a necessidade de apoio institucional sensível à cultura local (Schwartzman & Zimmerman, 2005; Urzedo et al., 2020a; Reyes-García et al., 2019; Robinson et al., 2021; Sanches et al. 2021; Sena et al., 2022).

Experiências como a da Rede de Sementes do Xingu, liderada por comunidades indígenas, quilombolas e agricultores familiares, demonstram como práticas tradicionais podem ser articuladas com demandas de restauração ecológica e gerar benefícios socioeconômicos e ambientais (Schwartzman & Zimmerman, 2005; Reyes-García et al., 2019; Urzedo et al., 2020a; Robinson et al., 2021; Schmidt et al., 2021; Sena et al., 2022). No entanto, esse cenário de avanços convive com sérias ameaças às políticas indigenistas, como a tese do marco temporal e o PL 490/2007, que buscam restringir o direito à demarcação de terras e representam graves retrocessos nos direitos garantidos pela Constituição Federal e pela Convenção 169 da OIT (Baragwanath & Bayi, 2020; Lima et al., 2024). Soma-se a isso o enfraquecimento institucional da FUNAI e a crescente criminalização de

lideranças indígenas, especialmente em regiões de conflito fundiário e ambiental.

Ainda assim, demais experiências de boas práticas mostram caminhos possíveis: povos como os Xavante, Ashaninka, Kayapó e Paiter Suruí têm protagonizado iniciativas de reflorestamento, manejo territorial e restauração ecológica com base em espécies nativas e em parcerias com universidades, ONGs e órgãos públicos (Welch & Coimbra, 2019; Schmidt et al., 2021; Robinson et al., 2021; Sena et al., 2022).

1.2.4 Resiliência Ecológica em Sistemas Socioambientais

A noção de resiliência ecológica foi originalmente formulada por C.S. Holling (1973), definindo-a como a capacidade de um ecossistema de absorver distúrbios e reorganizar-se sem perder suas funções, estruturas e processos essenciais. Ao longo das últimas décadas, esse conceito evoluiu para abarcar não apenas componentes biológicos e físicos dos sistemas naturais, mas também os elementos sociais, econômicos e culturais que os influenciam, dando origem ao que se convencionou chamar de resiliência socioecológica (Folke, 2006; Berkes et al., 2003). Em um mundo marcado por profundas alterações climáticas, degradação ambiental e conflitos territoriais, compreender e fortalecer a resiliência tornou-se um objetivo-chave de políticas de sustentabilidade.

A construção de resiliência socioecológica é um processo dinâmico que envolve múltiplas dimensões (ecológicas, sociais, culturais e institucionais) e exige abordagens integradas e adaptativas. Em contextos marcados pela dependência direta dos recursos naturais, como os territórios habitados por povos e comunidades tradicionais (PCTs), a resiliência é fortalecida por fatores como o engajamento comunitário, a valorização do conhecimento ecológico tradicional (CET), a equidade na governança e a diversidade biocultural (Carpenter et al., 2001; Biggs et al., 2015; Shemshad et al., 2025).

A abordagem socioecológica reconhece que os sistemas naturais e humanos estão intrinsecamente interconectados, formando sistemas acoplados que coevoluem, compartilham vulnerabilidades e podem construir

conjuntamente capacidades adaptativas. Essa perspectiva é particularmente relevante em territórios ocupados por Povos e Comunidades Tradicionais (PCTs), cuja sobrevivência e identidade cultural dependem profundamente dos serviços ecossistêmicos e do conhecimento tradicional acumulado sobre a paisagem (Mathez-Stiefel et al., 2017).

No campo da ecologia política e da gestão ambiental participativa, o conceito de resiliência tem sido utilizado como uma estrutura analítica para compreender a capacidade adaptativa de comunidades e ecossistemas diante de choques externos, como secas, enchentes e incêndios (Adger, 2000). Em regiões altamente dependentes de recursos naturais, como várzeas, zonas úmidas e sistemas agroflorestais tradicionais, esses impactos são exacerbados por desigualdades sociais históricas, racismo ambiental e pela exclusão sistemática do conhecimento local das políticas públicas (May, 2018; Reid & Alam, 2017).

A construção de resiliência em sistemas socioecológicos não se limita à capacidade de retornar a um estado anterior após uma perturbação, mas envolve também a habilidade de adaptar-se, reorganizar-se e, em alguns casos, transformar-se em resposta às mudanças (Carpenter et al., 2001; Falk et al., 2022). Nesse sentido, são identificados cinco elementos fundamentais para a resiliência socioecológica: o engajamento comunitário e a valorização do conhecimento tradicional; a governança participativa e o enfrentamento das desigualdades; o aprendizado adaptativo baseado em feedbacks; a diversidade ecológica e social combinada com conectividade; e o monitoramento contínuo por meio de indicadores apropriados (Biggs et al., 2015; Baho et al., 2017; Johnson et al., 2020; Pelletier et al., 2020; Yi et al., 2021).

O envolvimento direto das comunidades na gestão dos recursos e o reconhecimento de seus saberes tradicionais fortalecem a autonomia local e aumentam a capacidade de adaptação (Shemshad et al., 2025; Mathez-Stiefel et al., 2017). Por sua vez, estruturas de governança mais inclusivas, que consideram os diferentes interesses e promovem justiça social, são essenciais para a construção de uma resiliência equitativa (May, 2018). O aprendizado adaptativo (através da experimentação, da troca de experiências

e da incorporação de feedbacks) permite que os sistemas respondam de forma flexível às incertezas (Young, 2021).

Além disso, a diversidade biológica e cultural atua como um amortecedor frente às perturbações, enquanto a conectividade entre pessoas, ecossistemas e instituições favorece respostas coordenadas e mais eficazes (Pelletier et al., 2020; Moore & Schindler, 2022). Para orientar essas respostas, o uso de métricas quantitativas tem se mostrado fundamental, permitindo o acompanhamento da resiliência ao longo do tempo e a identificação de pontos críticos de intervenção (Baho et al., 2017; Yi et al., 2021).

Entretanto, o fortalecimento da capacidade adaptativa depende não apenas de variáveis técnicas e ecológicas, mas também de fatores sociais como redes de confiança, ação coletiva e coordenação entre atores diversos (Chambers et al., 2019; Johnson et al., 2020). Em contrapartida, as vulnerabilidades se acentuam em contextos de fraca governança, exclusão de vozes locais e desigualdade estrutural — fatores recorrentes nos territórios de PCTs (Adger, 2000; Hernández et al., 2019).

É importante destacar que resiliência não se limita ao retorno a um estado anterior, mas envolve a capacidade de transformar práticas e estruturas para lidar com novas realidades, mantendo o bem-estar das comunidades e a integridade dos ecossistemas (Carpenter et al., 2001; Moore & Schindler, 2022). Dessa forma, estratégias de manejo que integram as dimensões sociais e ecológicas, como a adaptação baseada em ecossistemas e a gestão orientada à resiliência, demonstram maior eficácia na manutenção dos serviços ecossistêmicos e na promoção do bem-estar comunitário (Reid & Alam, 2017; Chambers et al., 2019).

Estratégias como a adaptação baseada em ecossistemas (ABE) e a gestão orientada pela resiliência (GOR) vêm se destacando como abordagens promissoras para integrar as dimensões sociais e ecológicas em políticas públicas e projetos de restauração (Hernández et al., 2019; Falk et al., 2022). Quando incorpora os conhecimentos e os valores dos atores locais, a restauração torna-se uma ferramenta de fortalecimento de sistemas socioecológicos, promovendo regeneração ambiental, segurança territorial e inovação adaptativa (Walker et al., 2004; Berkes et al., 2003).

A inclusão do Conhecimento Ecológico Tradicional (CET) na seleção de espécies para plantio, na definição de zonas prioritárias e no monitoramento da restauração é uma forma prática de construir resiliência socioambiental. O CET fornece uma compreensão profunda e situada das dinâmicas ecossistêmicas, permitindo a adaptação a mudanças ambientais por meio de estratégias flexíveis e culturalmente relevantes (Hosen et al., 2020; Gómez-Baggethun et al., 2013). Além disso, os indicadores locais utilizados no monitoramento contribuem para processos mais contínuos, participativos e efetivos de avaliação do sucesso ecológico (Tran et al., 2024).

Essa perspectiva demanda uma mudança no paradigma de governança ambiental, com maior redistribuição de poder e valorização de epistemologias diversas. A integração do CET pressupõe o abandono de modelos de gestão verticalizados em favor de uma governança colaborativa, que reconheça a legitimidade dos conhecimentos tradicionais e amplie a participação das comunidades nos processos decisórios (Molnár & Babai, 2021; Singleton et al., 2021). Ao articular o CET com o conhecimento científico, reduz-se o hiato epistemológico e constroem-se estratégias de restauração mais justas, inovadoras e sustentáveis, fortalecendo a soberania dos povos tradicionais e a legitimidade dos processos de restauração ecológica em territórios historicamente marginalizados (Silva-Ávila et al., 2025; Rattling Leaf, 2022).

A restauração ecológica tem ganhado destaque como uma das principais estratégias baseadas na natureza para enfrentar a crise climática e a perda de biodiversidade. No entanto, sua eficácia a longo prazo depende da integração entre componentes ecológicos e sociais. Isso é particularmente verdadeiro em territórios habitados por Povos e Comunidades Tradicionais (PCTs), nos quais os vínculos entre território, cultura e natureza são indissociáveis (Gómez-Baggethun et al., 2013; McMillen et al., 2017).

Projetos de restauração que consideram apenas critérios biológicos ou técnicos, sem dialogar com as práticas locais de manejo, tendem a falhar em garantir a sustentabilidade socioambiental (Tran et al., 2024). Em contraste, ações que incorporam o Conhecimento Ecológico Tradicional (CET), os valores culturais e a gestão comunitária fortalecem a resiliência ecológica e

social, promovendo não apenas a regeneração da vegetação, mas também o empoderamento local, a segurança alimentar e a coesão comunitária (Hosen et al., 2020; Molnár & Babai, 2021; Nelson & Shilling, 2020; Silva-Ávila et al., 2025). Além de ampliar a legitimidade social das ações de restauração, essa abordagem contribui para estratégias de adaptação mais justas e sustentáveis, centradas em alianças entre ciência, território e cultura (Rattling Leaf, 2022; Singleton et al., 2021).

Em regiões como o Pantanal, a Caatinga e o Cerrado, onde as comunidades tradicionais enfrentam riscos crescentes de deslocamento e perda de seus modos de vida, a restauração ecológica tem se consolidado como um instrumento estratégico de reconstrução de territórios e de esperança frente às mudanças climáticas e à degradação ambiental (Liévano-Latorre et al., 2025; Guerra et al., 2020). Nessas regiões, a restauração pode reconstituir funções ecológicas críticas, como a regulação hídrica e a conectividade da paisagem, fundamentais para a resiliência frente a eventos extremos como secas, enchentes e incêndios (Antongiovanni et al., 2022; Oliveira Aparecido et al., 2024).

Os métodos de restauração variam conforme o contexto ecológico e sociocultural: no Cerrado e no Pantanal, a regeneração natural e o plantio de mudas são amplamente utilizados; já na Caatinga, destaca-se a semeadura direta e os sistemas agroflorestais, que integram conservação ambiental com segurança alimentar e geração de renda para as comunidades locais (Miccolis et al., 2017; Rodrigues et al., 2020). A adoção de práticas adaptadas ao conhecimento tradicional, como o uso de plantas alimentícias nativas e o fortalecimento de redes de conhecimento, tem contribuído para valorizar identidades culturais, conservar a biodiversidade e ampliar os benefícios socioeconômicos da restauração (Bortolotto et al., 2017).

Além disso, a restauração nessas regiões atua como barreira contra as consequências do avanço da fronteira agrícola, prevenindo incêndios de alta intensidade e mitigando alterações no regime hidrológico – especialmente no Pantanal, cujas áreas úmidas dependem diretamente da integridade ecológica do Cerrado adjacente (Santos et al., 2024; Roque et al., 2016). Entretanto, persistem lacunas no conhecimento técnico e científico, especialmente no Pantanal e na Caatinga, evidenciando a necessidade de

ampliar os estudos sobre técnicas além do plantio de árvores e incluir uma maior diversidade de espécies e formas de vida (Guerra et al., 2020). Para maximizar os resultados ecológicos e sociais, são urgentes o planejamento em larga escala, o uso de critérios multiescalares de priorização e o engajamento efetivo das comunidades tradicionais como protagonistas dos processos de restauração (Liévano-Latorre et al., 2025; Antongiovanni et al., 2022).

1.2.5 Políticas Públicas, Indicadores e Desafios para a Restauração Ecológica no Brasil

A avaliação da degradação ambiental e do desmatamento é essencial para orientar ações de restauração ecológica baseadas em evidências. No Brasil, o desmatamento e a conversão de ecossistemas nativos têm sido os principais vetores de degradação, especialmente nos biomas Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. Segundo MapBiomas (2024), entre 1986 e 2021, a degradação da vegetação nativa no Brasil pode ter atingido entre 11% e 25% de sua área total, o que corresponde a uma extensão de 60,3 milhões a 135 milhões de hectares. O MapBiomas (2022) também indica que o país perdeu mais de 85 milhões de hectares de vegetação nativa entre 1985 e 2021, com destaque para o avanço do agronegócio, a grilagem e os incêndios florestais como fatores determinantes. Indicadores como perda de cobertura vegetal, fragmentação de habitat, aumento da erosão, contaminação hídrica e diminuição da biodiversidade funcional são amplamente utilizados para diagnosticar níveis de degradação (Hobbs & Harris, 2001; Rodrigues et al., 2009).

Embora o Brasil tenha avançado na formulação de políticas públicas, como a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Proveg, Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017) e o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg, Portaria Interministerial nº 230, de 14 de novembro de 2017), a implementação prática ainda apresenta desafios. O PLANAVEG foi instituído pela Portaria Interministerial nº 230, de 14 de novembro de 2017, e visa ampliar e fortalecer políticas públicas, incentivos financeiros, mercados, tecnologias de recuperação e boas práticas

agropecuárias para a recuperação da vegetação nativa (MMAMC, 2024, s.d.). A meta é recuperar 12 milhões de hectares de vegetação nativa no Brasil. Em sua versão 2025-2028, o PLANAVEG foi revisitado com o envolvimento de mais de 120 organizações, após a retomada da Comissão de Recuperação da Vegetação Nativa (Conaveg) em novembro de 2023 (MMAMC, 2024, s.d.). Esta nova versão está estruturada em quatro "Estratégias Transversais" e quatro "Arranjos de Implementação". As Estratégias Transversais incluem: Inteligência Espacial e Monitoramento, Cadeia Produtiva da Recuperação, Financiamento da Recuperação e Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação. Os Arranjos de Implementação buscam destravar a demanda pela recuperação em escala, conectando políticas públicas como a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN/Código Florestal, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), o Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC, Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000) e a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI, Decreto nº 7.747, de 5 de junho de 2012) (MMAMC, 2017; 2024). A meta de 12 milhões de hectares é distribuída da seguinte forma: 9 milhões em Reserva Legal/Área de Preservação Permanente/Área de Uso Restrito, 1 milhão em Recuperação Produtiva e 2 milhões em Áreas Públicas (MMAMC, 2024, s.d.). Um levantamento do WRI Brasil (2020) aponta que, dos 12 milhões de hectares de restauração previstos até 2030 pelo Proveg, apenas uma fração foi efetivamente restaurada com critérios ecológicos robustos. Parte dos projetos contabilizados são ações compensatórias com baixa diversidade, pouco monitoramento e reduzido envolvimento comunitário.

Os indicadores de sucesso da restauração ecológica variam conforme os objetivos de cada projeto. No entanto, geralmente incluem o restabelecimento da cobertura vegetal, a diversidade de espécies nativas plantadas, a recuperação de processos ecológicos como a ciclagem de nutrientes e a infiltração hídrica, a conectividade ecológica e a participação social. Por outro lado, os indicadores de insucesso abrangem altas taxas de mortalidade das mudas, o uso de espécies exóticas ou homogêneas, a falta de monitoramento a longo prazo e a ausência de retorno ecológico ou social para as comunidades envolvidas (Chazdon et al., 2017; Brancalion & van

Melis, 2017). Além disso, fatores socioeconômicos, fundiários e institucionais impactam diretamente os resultados. Projetos implantados sem diálogo territorial, sem considerar os saberes locais ou em contextos de conflito fundiário, frequentemente falham ou geram impactos indesejados.

No cenário internacional, o Brasil também assumiu compromissos por meio da Década da Restauração de Ecossistemas (2021–2030), da Conferência de Biodiversidade da ONU (COP-15) e do Acordo de Paris. Contudo, o alcance das metas depende da articulação entre governos, sociedade civil e setor privado, além da superação dos gargalos técnicos, financeiros e de governança.

Apesar dos compromissos assumidos nacional e internacionalmente, os resultados da restauração ecológica no Brasil ainda são limitados em termos de efetividade real. Embora existam iniciativas bem-sucedidas, como projetos na Mata Atlântica, ações agroflorestais em áreas indígenas e redes comunitárias de coleta de sementes, a maior parte das metas de restauração tem sido cumprida de forma parcial, fragmentada e, muitas vezes, descolada de critérios ecológicos robustos (Brancaion & van Melis, 2017; WRI Brasil, 2020). Levantamentos recentes mostram que grande parte dos hectares contabilizados como “restaurados” corresponde a ações compensatórias com baixa diversidade biológica, ausência de monitoramento e pouco ou nenhum envolvimento das comunidades locais (Chazdon et al., 2017; Fernandes et al., 2022). Além disso, a velocidade da degradação (especialmente em biomas como o Cerrado e o Pantanal) supera os esforços de recuperação ambiental, tornando a restauração pontual e insuficiente diante do avanço do desmatamento (MapBiomas, 2022). No Pantanal, a área degradada pode variar de 800 mil hectares (6,8%) a 2,1 milhões de hectares (quase 19%). A incidência de incêndios nos últimos cinco anos prejudicou 9% das formações florestais do bioma (MapBiomas, 2024). A falta de financiamento contínuo, a instabilidade institucional e os entraves fundiários também comprometem a continuidade e a qualidade dos projetos (Brancaion et al., 2022). Assim, embora a restauração no Brasil tenha demonstrado potencial estratégico e casos de sucesso local, ela ainda não é amplamente efetiva como política pública integrada. Para que cumpra seu papel ecológico e social, é

necessário garantir maior qualidade técnica, justiça territorial, participação social e monitoramento de longo prazo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar áreas prioritárias para a restauração ecológica no Pantanal brasileiro, integrando a dinâmica topoclimática, a vulnerabilidade ao estresse térmico e a permanência de Povos e Comunidades Tradicionais, com o propósito de preservar a biodiversidade e promover a adaptação climática dessas populações.

1.3.2 Objetivos Específicos

- (1) Analisar criticamente os desafios e estratégias atuais da restauração ecológica frente às mudanças climáticas, com foco em:
 - a. mecanismos para aumentar a resiliência da biodiversidade;
 - b. impactos climáticos nos ecossistemas; e
 - c. modelos inovadores de restauração adaptativa.
- (2) Testar e validar metodologia integrada para avaliação topoclimática e do conforto térmico humano (UTCI), com aplicação em estudo de caso de dimensões mais restritas;
- (3) Selecionar áreas prioritárias para restauração ecológica no Pantanal mediante multicritérios, combinando:
 - a. Modelos existentes de topoclima e UTCI (Universal Thermal Climate Index);
 - b. Territórios tradicionais (Terras Indígenas e comunidades locais); e
 - c. Unidades de Conservação da Natureza (UCs).

- (4) Mapear zonas críticas através da sobreposição de camadas de vulnerabilidade térmica e ocupação humana tradicional.
- (5) Identificar e selecionar espécies vegetais prioritárias para projetos de restauração ecológica no Pantanal brasileiro;

1.4 Pergunta e Hipótese

Como priorizar áreas para restauração ecológica no Pantanal, de modo a contribuir para promover a adaptação de Povos e Comunidades Tradicionais às mudanças climáticas? Nossa hipótese é que o Pantanal sofre os efeitos das mudanças climáticas de forma desigual no seu território, ensejando uma priorização de áreas mais críticas e vulneráveis.

O roteiro metodológico de investigação proposto busca a aplicação de multicritérios que combinem: (a) modelagem topoclimática e de conforto térmico, (b) mapeamento de territórios tradicionais, e (c) características ecológicas-chave. Isso permitirá identificar áreas de restauração prioritárias no Pantanal que, quando recuperadas: (a) reduzirão os impactos do estresse térmico sobre a biodiversidade e populações humanas; (b) potencializarão a resiliência climática dos ecossistemas; e (c) respeitarão os modos de vida tradicionais, gerando benefícios simultâneos para a conservação e adaptação local.

Esta tese está organizada em três partes principais, compostas por três capítulos, além das considerações finais, como descrito a seguir e sintetizado na Figura 1:

Parte 1 - Introdução Geral: Nesta parte, é apresentada a contextualização do problema e revisão da literatura. São discutidos os objetivos, a pergunta de pesquisa e as hipóteses propostas para este trabalho.

Parte 2 - Capítulos: Esta parte inclui três capítulos que abordam diferentes aspectos do tema central (Pantanal e Restauração Ecológica):

Capítulo 1: "*Narrativa sobre Restauração Ecológica em Condições Climáticas Futuras*" apresenta uma revisão da literatura sobre restauração ecológica e conservação da biodiversidade, além de discutir o papel dessa prática na mitigação das mudanças climáticas.

Capítulo 2: "*Navegando na interação entre restauração de ecossistemas, mudanças climáticas e saúde humana: abordando desafios com um estudo de caso na Europa Central*" explora a relação entre restauração de ecossistemas e mudanças climáticas, com foco em um estudo de caso da Europa Central para imersão metodológica e sua testagem.

Capítulo 3: "*Identificação de áreas prioritárias para restauração ecológica frente às mudanças climáticas no Pantanal brasileiro*" aborda a utilização de dados de modelagem topoclimática e de estresse térmico humano (UTCI+WBGT) para identificar áreas críticas no Pantanal com potencial prioritário para restauração ecológica.

Parte 3 - Considerações Finais Geral: Apresenta uma síntese geral dos resultados obtidos, discutindo as implicações científicas e práticas da pesquisa, além de propor recomendações para ações futuras na área de restauração ecológica e mitigação das mudanças climáticas no Pantanal.

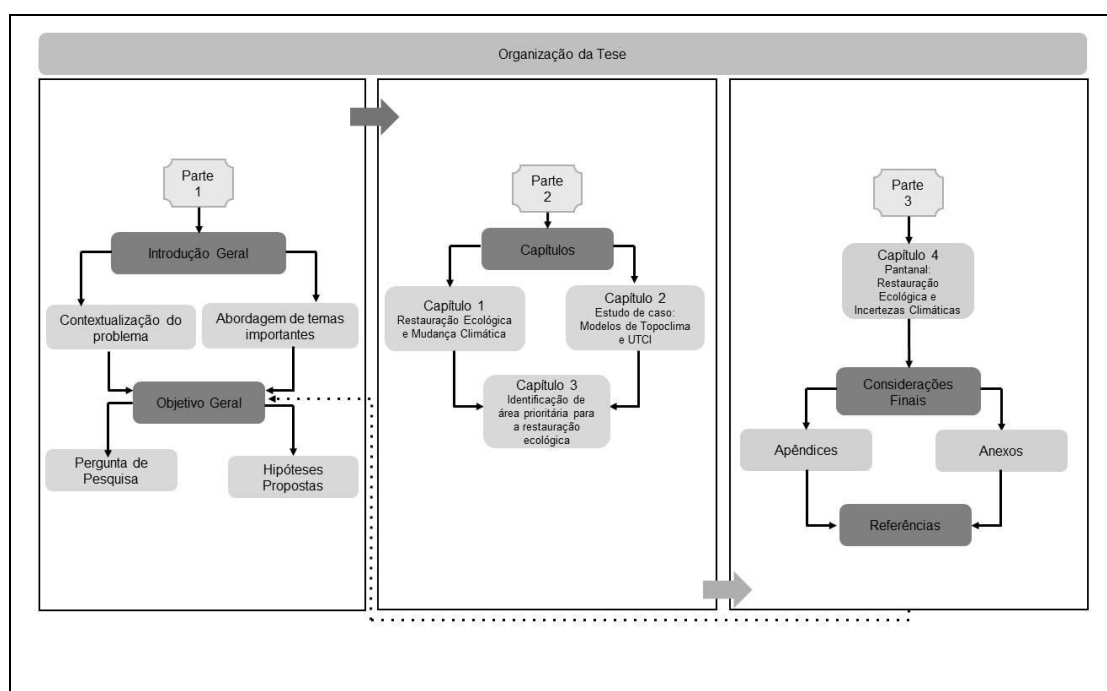


Figura 1. Fluxograma da Organização da Tese.

O diagrama ilustra de forma geral a estrutura da pesquisa, destacando as principais partes, objetivos e capítulos, além de evidenciar a interconexão entre a introdução, desenvolvimento e as considerações gerais.

Por conta da formatação desta tese em formato de capítulos de artigos científicos, notar-se-á que algumas informações se repetem entre a Introdução Geral, e o capítulo 3, sobretudo no que se refere à descrição do Pantanal, ou entre a Introdução Geral e algumas considerações sobre o papel da restauração nos capítulos 1 e 2. Isso acontece para garantir a clareza e a autonomia de cada capítulo.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAL

- Acseirad, H. (2006). Vulnerabilidade ambiental, processos e relações. Comunicação ao II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais, FIBGE, Rio de Janeiro. https://www.academia.edu/download/59339887/Vulnerabilidade_Ambientais_Proce_ssos_Relacoes_Henri_Acseirad20190521-40779-10oq1ci.pdf
- Alencar, A., Pillar, V., Durigan, G., Padovezi, A., Roitman, I., De Oliveira, A., Valle, R., Bustamante, M., Shimbo, J., Rodrigues, R., Garcia, E., Malhado, A., Sampaio, A., Figueiredo, I., De Paiva Salomão, R., Fernandes, G., Vendramini, A., Silva, J., Tabarelli, M. B., Scariot, A., Sano, E., Biderman, R., Nobre, C., Generoso, L., Carrascosa, H., Freitas, J., Mascia, D., & Siqueira, J. (2019). Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: Lessons and challenges from Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(1), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9837-5>
- Alho, C., & Reis, R. (2017). Exposure of fishery resources to environmental and socioeconomic threats within the Pantanal wetland of South America. *International Journal of Aquaculture*, 3, 22–29. <https://doi.org/10.17352/2455-8400.000024>
- Alho, C., & Silva, J. (2012). Effects of severe floods and droughts on wildlife of the Pantanal wetland (Brazil)—A review. *Animals*, 2(4), 591–610. <https://doi.org/10.3390/ani2040591>
- Alves, R., Levis, C., Bertin, V., Ferreira, M., Cassino, M., Pequeno, P., Schietti, J., & Clement, C. (2022). Local forest specialists maintain traditional ecological knowledge in the face of environmental threats to Brazilian Amazonian protected areas. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, Article 1028129. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1028129>
- Antongiovanni, M., Venticinque, E., Tambosi, L., Matsumoto, M., Metzger, J., & Fonseca, C. (2022). Restoration priorities for Caatinga dry forests:

Landscape resilience, connectivity and biodiversity value. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14131>.

Aragão, L., Ferro, P., Da Silva Magalhães, D., Mataveli, G., Silveira, M., De Medeiros, T., Anderson, L., & Dutra, D. (2024). Challenges for reducing carbon emissions from land-use and land cover change in Brazil. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 22(3), 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.04.004>

Arantes, M. (2016). *Gestão socioambiental de territórios protegidos em sobreposição na Amazônia Brasileira* [Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília]. <https://doi.org/10.26512/2016.06.d.21632>

Arguelho, J. S., Oliveira, J. A. D., Pires-Oliveira, J. C., Cupertino-Eisenlohr, M. A., Simioni, P. F., Silva, I. V. D., Silgueiro, V. F., Sobral-Souza, T., Santos-Silva, D. L., & Eisenlohr, P. V. (2025). Could plant species currently used in the ecological restoration of a comprehensive ecotone in Brazil be resilient to climate changes?. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/11263504.2025.2519079>

Aronson, J., Blignaut, J. N., Milton, S. J., Le Maitre, D., Esler, K. J., Limouzin, A., Fontaine, C., De Wit, M. P., Mugido, W., Prinsloo, P., Van Der Elst, L., & Lederer, N. (2010). Are socioeconomic benefits of restoration adequately quantified? A meta-analysis of recent papers (2000–2008) in Restoration Ecology and 12 other scientific journals. *Restoration Ecology*, 18(2), 143–154. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00638.x>

Assine, M., & Silva, A. (2009). Contrasting fluvial styles of the Paraguay River in the northwestern border of the Pantanal wetland, Brazil. *Geomorphology*, 113(3–4), 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.012>

Assine, M., Merino, É., Pupim, F., Macedo, H., & Santos, M. (2015). The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 45(3), 475–489. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201520150014>

- Baho, D., Allen, C., Garmestani, A., Fried-Petersen, H., Renes, S., Gunderson, L., & Angeler, D. (2017). A quantitative framework for assessing ecological resilience.. *Ecology and society: a journal of integrative science for resilience and sustainability*, 22 3, 1-17 . <https://doi.org/10.5751/ES-09427-220317>.
- Balée, W., De Oliveira, V., Santos, R., Amaral, M., Rocha, B., Guerrero, N., Schwartzman, S., Torres, M., & Pezzuti, J. (2020). Ancient transformation, current conservation: Traditional forest management on the Iriri River, Brazilian Amazonia. *Human Ecology*, 48(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10745-020-00139-3>
- Ballut-Dajud, G., Herazo, L., Fernández-Lambert, G., Marín-Muñiz, J., Mendez, M., & Betanzo-Torres, E. (2022). Factors affecting wetland loss: A review. *Land*, 11(3), Article 434. <https://doi.org/10.3390/land11030434>
- Baragwanath, K., & Bayi, E. (2020). Collective property rights reduce deforestation in the Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(34), 20495–20502. <https://doi.org/10.1073/pnas.1917874117>
- Biggs, R., Schlüter, M., & Schoon, M. (2015). An introduction to the resilience approach and principles to sustain ecosystem services in social–ecological systems. , 1-31. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316014240.002>.
- Boin, M., Martins, P., Da Silva, C., & Salgado, A. (2019). Pantanal: The Brazilian Wetlands. *The Physical Geography of Brazil*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_5.
- Bortolotto, I., Hiane, P., Ishii, I., Souza, P., Campos, R., Gomes, R., Da Silva Farias, C., Leme, F., Arruda, R., Da Costa, L., & Damasceno-Júnior, G. (2017). A knowledge network to promote the use and valorization of wild food plants in the Pantanal and Cerrado, Brazil. *Regional Environmental Change*, 17, 1329-1341. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1088-y>.
- Brancalion, P. H. S., de Siqueira, L. P., Amazonas, N. T., Rizek, M. B., Mendes, A. F., Santiámi, E. L., Rodrigues, R. R., Calmon, M., Benini, R., Tymus, J. R. C., Holl, K. D., & Chaves, R. B. (2022). Ecosystem restoration

- job creation potential in Brazil. *People and Nature*, 4(6), 1426–1434. <https://doi.org/10.1002/pan3.10370>
- Brancalion, P. H. S., Rodrigues, R. R., Gandolfi, S., Kageyama, P. Y., Nave, A. G., Gandara, F. B., Barbosa, L. M., & Tabarelli, M. (2010). Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. *Revista Árvore*, 34, 455–470. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000300010>
- Brancalion, P. H. S., Viani, R. A. G., Rodrigues, R. R., & Gandolfi, S. (2012a). Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In *Restauração ecológica de ecossistemas degradados* (Vol. 2). [http://esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206\(2\).pdf](http://esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206(2).pdf)
- Brancalion, P. H. S., Viani, R. A. G., Strassburg, B. B., & Rodrigues, R. R. (2012b). Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva*, 63(239), 41–50. https://www.rncalliance.org/WebRoot/rncalliance/Shops/rncalliance/509E/0633/706F/6EAF/F598/C0A8/D2F8/45D2/DTP2_239_English_Brancalion_0020_et_0020_al_4-10-12.pdf
- Brasil, (2017). *Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa*. https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/politica-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf
- Brasil. (2007, 7 de fevereiro). Decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm
- Carey, C. (2009). The impacts of climate change on the annual cycles of birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1534), 3321–3330. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0182>

- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?. *Ecosystems*, 4, 765-781. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>.
- Casazza, M., Yang, Z., Dumontet, S., Liu, G., & Yang, Q. (2021). Ecosystem restoration programs challenges under climate and land use change. *The Science of the Total Environment*, 785, 150527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150527>
- Castro, L. R. de. (2016). *Estudos de paisagem aplicados ao etnomapeamento no território indígena Krahô no Brasil Central* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília]. <http://jbb.ibict.br/handle/1/1167>
- Chambers, J., Allen, C., & Cushman, S. (2019). Operationalizing Ecological Resilience Concepts for Managing Species and Ecosystems at Risk. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00241>.
- Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 320(5882), 1458–1460. <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1155365>
- Chiaravalloti, R. (2019). The Displacement of Insufficiently 'Traditional' Communities: Local Fisheries in the Pantanal. *Conservation and Society*. https://doi.org/10.4103/CS.CS_18_58.
- CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. (1991). *Nosso futuro comum* (2ª ed., pp. 46–71). Editora da Fundação Getúlio Vargas. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf
- Comandulli, C. S. (2016). Gestão territorial e ambiental de terras indígenas: Fazendo planos. *RURIS (Campinas, Online)*, 10(1), 58–78. <https://doi.org/10.53000/rr.v10i1.2634>
- Costa Filho, A., & Vianna Mendes, A. (2013). *Direitos dos povos e comunidades tradicionais*. Superintendência de Comunicação Integrada – MPMG.

https://www.caa.org.br/media/publicacoes/PUBLICACAO_ESPECIAL_DIREITOS_DOS_POVOS_E_COMUNIDADES_TRADICIONAIS_oibAP6o.pdf

Costa, M. A., & da Silva, L. P. (2021). Mudanças climáticas e patrimônio cultural de povos indígenas e comunidades tradicionais no Pantanal. *Patrimônio e Memória*, 17(2), 103–123.

Costanti, E., & Nogueira, J. (2018). A cost-benefit analysis of securing Indigenous environmental management in Brazil. In *2018 Conference, July 28–August 2, 2018, Vancouver, British Columbia* (No. 332964). Agricultural and Applied Economics Association. <https://ageconsearch.umn.edu/record/332964>

da Silva, C. J., Albernaz-Silveira, R., & Nogueira, P. S. (2014). Perceptions on climate change of the traditional Community Cuiabá Mirim, Pantanal Wetland, Mato Grosso, Brazil. *Climatic Change*, 127, 83–92. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1150-z>

Davidson, N. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65, 934–941. <https://doi.org/10.1071/MF14173>.

Dawson, N. M., Coolsaet, B., Bhardwaj, A., Booker, F., Brown, D., Lliso, B., Loos, J., Martin, A., Oliva, M., Pascual, U., Sherpa, P., & Worsdell, T. (2024). Is it just conservation? A typology of Indigenous peoples' and local communities' roles in conserving biodiversity. *One Earth*, 7(6), 1007–1021. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.05.001>

Dawson, N. M., Coolsaet, B., Sterling, E. J., Loveridge, R., Gross-Camp, N. D., Wongbusarakum, S., ... Rosado-May, F. J. (2021). The role of Indigenous peoples and local communities in effective and equitable conservation. *Ecology and Society*, 26(3), 19. <https://doi.org/10.5751/ES-12625-260319>

de Castro Campos, A., Campos, R. T., Melo, V. G. N., Pires, B. R. C., & de Moraes, N. R. (2020). Comunidades tradicionais de geraizeiros no território brasileiro: formação, identidade e cultura. *Revista Observatório*, 6(1), a13pt-a13pt. <http://dx.doi.org/10.20873/uft.2447-4266.2020v6n1a13pt>

- De Oliveira Aparecido, L., Torsoni, G., Dutra, A., Lorençone, J., Leite, M., Lorençone, P., De Alcântara Neto, F., Zuffo, A., & De Medeiros, R. (2024). Assessing fire risk and safeguarding Brazil's biomes: a Multifactorial Approach. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05163-7>.
- de Oliveira, C. A. F., de Lima, I. B., & Falcão, M. T. (2017). Territorial management and Brazilian public policy for ethnotourism and ecotourism in Indigenous lands: The Pataxó case in Bahia. In *Tourism and Ethnodevelopment* (pp. 44–64). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315225289-5>
- De Oliveira, M. S., & Le Bourlegat, C. A. (2019). Estrada-Parque Pantanal e comunidades locais na potencialização do turismo e do desenvolvimento sustentável. *Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)*, 12(5). <https://www.academia.edu/download/66718864/7153.pdf>
- Debortoli, N. S., Dubreuil, V., Funatsu, B., Delahaye, F., de Oliveira, C. H., Rodrigues-Filho, S., Saito, C. H., & Fetter, R. (2015). Rainfall patterns in the Southern Amazon: A chronological perspective (1971–2010). *Climatic Change*, 132(2), 251–264. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1415-1>
- Dickson, F., Prober, S., Williams, K., Broadhurst, L., & Doerr, V. (2019). Shifting the conservation paradigm: a synthesis of options for renovating nature under climate change. *Ecological Monographs*, 89(2), e01333. <https://doi.org/10.1002/ECM.1333>
- Dolabela, H., & Fotta, M. (2021). Ciganos as a Traditional People: Romanies and the Politics of Recognition in Brazil. *Ethnopolitics*, 22, 157 - 176. <https://doi.org/10.1080/17449057.2021.2008671>.
- Drago, E., Paira, A., & Wantzen, K. (2008a). Channel-floodplain geomorphology and connectivity of the Lower Paraguay hydrosystem. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 8, 31-48. <https://doi.org/10.2478/V10104-009-0003-2>.
- Drago, E., Wantzen, K., & Paira, A. (2008b). The Lower Paraguay river-floodplain habitats in the context of the Fluvial Hydrosystem Approach.

Ecohydrology and Hydrobiology, 8, 49-66.
<https://doi.org/10.2478/V10104-009-0004-1>.

Ely, P., Fantin-Cruz, I., Tritico, H., Girard, P., & Kaplan, D. (2020). Dam-Induced Hydrologic Alterations in the Rivers Feeding the Pantanal. , 8.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.579031>.

Fahrig, L. (2019). Habitat fragmentation: A long and tangled tale. *Global Ecology and Biogeography*, 28(1), 33–41. <https://doi.org/10.1111/geb.12839>

Falk, D., Van Mantgem, P., Keeley, J., Gregg, R., Guiterman, C., Tepley, A., Young, D., & Marshall, L. (2022). Mechanisms of forest resilience. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120129>.

Fanzeres, A. D. M. P., & Carvalho, R. D. C. (2025). The Apiaká and the Juruena National Park: An experience of shared territorial management. *Ambiente & Sociedade*, 28, e00127. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc01271vu28l1ft>

Ferreira, F., Júnior, W., Bressiani, D., Filho, W., & Gonçalves, D. (2024). Climate change in the upper Paraguay Basin and hydrological impacts on the Pantanal. *Journal of Water and Climate Change*. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.081>.

Ferronato, M. L., & de Souza, E. F. M. (2023). *Plantei árvores e um rio nasceu: A restauração ecológica pela agricultura familiar na Amazônia*. Editora Dialética.

Finlayson, C. M., & Davidson, N. C. (1999). *Global review of wetland resources and priorities for wetland inventory* (Summary Report No. 15). <https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/documents/ssr144-full-report-web.pdf#page=19>

Finlayson, M., Cruz, R. D., Davidson, N., Alder, J., Cork, S., de Groot, R. S., Lévêque, C., Milton, G. R., Peterson, G., Pritchard, D., Ratner, B. D., Reid, W. V., Revenga, C., Rivera, M., Schutyser, F., Siebentritt, M., Stuij, M., Tharme, R., Butchard, S., Dieme-Amting, E., & Taylor, D. (2005). *Ecosystems and human well-being: Wetlands and water synthesis*. In: Finlayson, M., Cruz, R. D., Davidson, N., Alder, J., Cork, S., de Groot, R. S.,

Lévêque, C., Milton, G. R., Peterson, G., Pritchard, D., Ratner, B. D., Reid, W. V., Revenga, C., Rivera, M., Schutyser, F., Siebentritt, M., Stulp, M., Tharme, R., Butchard, S., Dieme-Amting, E., Gitay, H., Raaymakers, S., & Taylor, D. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. <http://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/143/1/Millennium%20Ecosystem%20Assessment.%20ECOSYSTEMS%20AND%20HUMAN%20WELL-BEING%20WETLANDS%20AND%20WATER%20Synthesi.pdf>

Fischer, J., Riechers, M., Loos, J., Martín-López, B., & Temperton, V. M. (2021). Making the UN decade on ecosystem restoration a social-ecological endeavour. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.018>

Fluet-Chouinard, E., Stocker, B., Zhang, Z., Malhotra, A., Melton, J., Poulter, B., Kaplan, J., Goldewijk, K., Siebert, S., Minayeva, T., Hugelius, G., Joosten, H., Barthelmes, A., Prigent, C., Aires, F., Hoyt, A., Davidson, N., Finlayson, C., Lehner, B., Jackson, R., & McIntyre, P. (2023). Extensive global wetland loss over the past three centuries. *Nature*, 614, 281-286. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05572-6>.

Funk, A., Martínez-López, J., Borgwardt, F., Trauner, D., Bagstad, K. J., Balbi, S., Magrach, A., Villa, F., & Hein, T. (2019). Identification of conservation and restoration priority areas in the Danube River based on the multifunctionality of river-floodplain systems. *Science of the Total Environment*, 654, 763–777. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.322>

Gómez-Baggethun, E., Corbera, E., & Reyes-García, V. (2013). Traditional ecological knowledge and global environmental change: research findings and policy implications. *Ecology and society: a journal of integrative science for resilience and sustainability*, 18(4), 72. <https://doi.org/10.5751/ES-06288-180472>

Grenz, J., & Armstrong, C. G. (2023). Pop-up restoration in colonial contexts: Applying an Indigenous food systems lens to ecological restoration. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1244790. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1244790>

- Groombridge, B., & Jenkins, M. (1998). *Freshwater biodiversity: A preliminary global assessment*. World Conservation Press. <https://policycommons.net/artifacts/1372655/freshwater-biodiversity/1986866/>
- Guerra, A. J. T. (2018). Degradação dos solos – Conceitos e temas. In A. J. T. Guerra & M. C. O. Jorge (Orgs.), *Degradação dos solos no Brasil* (pp. 15–25). Editora Bertrand Brasil. <https://statics-submarino.b2w.io/sherlock/books/firstChapter/8196058.pdf>
- Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. D. C. O., & Alexandre, S. T. (2014). Soil erosion and conservation in Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(1), 81–91. <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/5992/5500>
- Guerra, A., Reis, L., Borges, F., Ojeda, P., Pineda, D., Miranda, C., De Lima Maidana, D., Santos, T., Shibuya, P., Marques, M., Laurance, S., & Garcia, L. (2020). Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117802>.
- Hall, M. M., Wehi, P. M., Whaanga, H., Walker, E. T., Koia, J. H., & Wallace, K. J. (2021). Promoting social and environmental justice to support Indigenous partnerships in urban ecosystem restoration. *Restoration Ecology*, 29(1), e13305. <https://doi.org/10.1111/rec.13305>
- Harris, T. W., Mourão, G., da Silva, C. J., Guimarães, E., Sonoda, F., & Fachim, E. (2005). Safeguarding the Pantanal wetlands: Threats and conservation initiatives. *Conservation Biology*, 19(3), 714–720. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00708.x>
- Hernández, V. A. C., Vargas, G. F., Figueroa, A., & Restrepo, I. (2019). The approach of socio-ecological systems in environmental sciences. *Investigación y Desarrollo*, 27(2), 85–109. <http://www.scielo.org.co/pdf/indes/v27n2/2011-7574-indes-27-02-85.pdf>
- Hill, T., Barros, F., Oliveira, R., Lewis, K., Matthews, C., Robertson, A., Lira-Martins, D., Mazzochini, G., Rowland, L., & Pennington, R. (2023). Cost-

effective restoration for carbon sequestration across Brazil's biomes. *The Science of the Total Environment*, 895, 162600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162600>

Hiran, Z. A. N. I., Assine, M. L., Silva, A., Corradini, F. A., Kuerten, S., & dos Santos Gradella, F. (2009). Geoformas deposicionais e feições erosivas no Pantanal Mato-Grossense identificadas por sensoriamento remoto. *Geografia*, 34, 643–654. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/4853>

Hobbs, R. J., & Norton, D. A. (1996). Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 4(2), 93–110. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1996.tb00112.x>

Hosen, N., Nakamura, H., & Hamzah, A. (2020). Adaptation to climate change: Does traditional ecological knowledge hold the key? *Sustainability*, 12(2), 676. <https://doi.org/10.3390/su12020676>

Howitt, R., Havnen, O., & Veland, S. (2012). Natural and unnatural disasters: Responding with respect for indigenous rights and knowledges. *Geographical Research*, 50(1), 47–59. <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2011.00709.x>

Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L., & Zhang, H. (2017). Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status.. *The Science of the total environment*, 586, 319-327 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.001>.

Huang, X., He, J., Zhang, Q., Wu, Z., & Wu, Y. (2024). Evaluating wetland ecosystem services value and dominant functions: Insights from the Pearl River Delta.. *Journal of environmental management*, 371, 123069 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123069>.

Ikeda-Castrillon, S. K., Oliveira-Junior, E. S., Rossetto, O. C., Saito, C. H., & Wantzen, K. M. (2022). The Pantanal: A seasonal neotropical wetland under threat. In R. Brinkmann (Ed.), *The Palgrave Handbook of Global Sustainability* (Vol. 1007, pp. 978–3). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38948-2_36-1

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Irigaray, C. T. J. H., & Araújo, L. F. B. (2018). Da impostergável proteção legislativa do Pantanal Mato-Grossense. *Revista Gestão & Políticas Públicas*, 8(2), 278–296. <https://www.revistas.usp.br/rgpp/article/view/139492>

Irigaray, C., Silva, C. J., Medeiros, H. Q., Girard, P., Fava, G. C., Maciel, J. C., Sobrinho, L. G. N., & Novais, L. G. (2011). O Pantanal Matogrossense enquanto patrimônio nacional no contexto das mudanças climáticas. In S. T. Silva, S. Cureau, & M. Leuzinger (Orgs.), *Mudança do Clima: Desafios jurídicos, econômicos e socioambientais* (pp. 1–18). São Paulo: Fiuza. <https://www.researchgate.net/publication/287878717>

Jacobi, P. R., Netto, A. L. A., Barcellos, L. M. B., Carvalho, C. M., & Galvanese, M. (2021). Governança multinível e práticas sociais no cumprimento da NDC brasileira. In C. Calgaro (Org.), *Constitucionalismo e Meio Ambiente. Tomo 4: Diretrizes de políticas públicas socioambientais* (pp. 761–788). Editora Fi. <https://www.researchgate.net/publication/349349587>

- Janse, J., Van Dam, A., Hes, E., De Klein, J., Finlayson, C., Janssen, A., Van Wijk, D., Mooij, W., & Verhoeven, J. (2019). Towards a global model for wetlands ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2018.09.002>.
- Johnson, F. A., Eaton, M. J., Mikels-Carrasco, J., & Case, D. (2020). Building adaptive capacity in a coastal region experiencing global change. *Ecology & Society*, 25(3).<https://doi.org/10.5751/es-11700-250309>.
- Junk, W. J., & De Cunha, C. N. (2005). Pantanal: A large South American wetland at a crossroads. *Ecological Engineering*, 24(4), 391–401. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.012>
- Kandus, P., Minotti, P., Morandeira, N., Grimson, R., Trilla, G., González, E., Martín, L., & Gayol, M. (2018). Remote sensing of wetlands in South America: status and challenges. *International Journal of Remote Sensing*, 39, 1016 - 993. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1395971>.
- Kronemberger, D. M. P. (2019). Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. *Ciência e Cultura*, 71(1), 40–45. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000100012>
- Kuhnert, P. M., Martin, T. G., & Griffiths, S. P. (2010). A guide to eliciting and using expert knowledge in Bayesian ecological models. *Ecology Letters*, 13(7), 900–914. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01477.x>
- Kundu, S., Kundu, B., Rana, N., & Mahato, S. (2024). Wetland degradation and its impacts on livelihoods and sustainable development goals: An overview. *Sustainable Production and Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.024>.
- Kushwaha, P., Sanyal, S., & Verma, S. (2025). Wetland ecosystem services and their spatial scales of benefit in an urban environment: A case study of varanasi, India.. *Integrated environmental assessment and management*. <https://doi.org/10.1093/inteam/vjaf034>.
- Leão, D. da S., Ikeda-Castrillon, S. K., Sander, N. L., Morais, F. F., Lima, A., Vaillant, C., Leite, I., da Silva, C. J., & Puhl, J. I. (2022). Dialogues to make

a pact for the restoration of the Pantanal. *Gaia Scientia*, 16, 43–60.
<https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/article/view/63789/36440>

Lee, J. T., Bailey, N., & Thompson, S. (2002). Using geographical information systems to identify and target sites for creation and restoration of native woodlands: A case study of the Chiltern Hills, UK. *Journal of Environmental Management*, 64(1), 25–34. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0495>

Let, M., & Pal, S. (2022). Socio-ecological well-being perspectives of wetland loss scenario: A review.. *Journal of environmental management*, 326 Pt B, 116692 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116692>.

Libonati, R., DaCamara, C. C., Peres, L. F., Sander de Carvalho, L. A., & Garcia, L. C. (2020). Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature*, 588(7837), 217–219. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-03464-1>

Liévano-Latorre, L., De Almeida-Rocha, J., Akama, A., Almeida, H., Andrade, R., Anjos, M., Antonini, Y., Bahia, T., Barbosa, F., Barbosa, R., Barros, C., Bergallo, H., Brabo, L., Camilo, A., Capellão, R., Carpanedo, R., Castilho, C., Cavalheiro, L., Cerqueira, R., Cordeiro, C., Córdova, M., Crouzeilles, R., Da Cunha, C., Desbiez, A., Dreschler-Santos, E., Dib, V., Dória, C., De Oliveira Drummond, L., Fernandes, G., Ferreira, V., Fischer, E., Franci, L., Gonçalves, S., Grelle, C., Guilhon, G., Hoeltgebaum, M., Iguatemy, M., Iribarrem, A., Jakovac, C., Junqueira, A., Koroiva, R., Krieger, J., Lacerda, E., Latawiec, A., Lopes, A., Luz, J., Da Silva Machado, T., Maioli-Azevedo, V., Manes, S., Manzatto, Â., De Matos, A., Monteiro, L., Muanis, M., Nascimento, M., Neckel-Oliveira, S., Niemeyer, J., Noronha, J., Nunes, A., Oliveira, A., Oliveira, J., Oliveira, L., Pansini, S., Penhacek, M., Perdiz, R., Podgaiski, L., Pontes, A., Rabello, A., Ribeiro, D., Rocha, D., Rodrigues, D., De Oliveira Roque, F., Rosado, B., Santos, C., Santos, F., Santos, P., Scaramuzza, C., Silva, A., Silveira, B., Silveira, M., De Almeida Silveira, M., Strassburg, B., Tomas, W., Willmer, J., & Loyola, R. (2025). Addressing the urgent climate and biodiversity crisis through strategic ecosystem restoration in Brazil. *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110972>.

- Lima, D. J., Silva, P., & Júnior, P. D. M. (2024). Evaluating the ecological and climate contributions of Indigenous lands under the Marco Temporal law in Brazil. *Biological Conservation*, 297, 110739. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110739>
- Littleton, E. W., Dooley, K., Webb, G., Harper, A. B., Powell, T., Nicholls, Z., Meinshausen, M., & Lenton, T. M. (2021). Dynamic modelling shows substantial contribution of ecosystem restoration to climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 16(12), 124061. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac3c6c/meta>
- Locatelli, B., Catterall, C. P., Imbach, P., Kumar, C., Lasco, R., Marín-Spiotta, E., Mercer, B., Powers, J. S., Schwartz, N., & Uriarte, M. (2015). Tropical reforestation and climate change: Beyond carbon. *Restoration Ecology*, 23(4), 337–343. <https://doi.org/10.1111/rec.12209>
- Löfqvist, S., Kleinschroth, F., Bey, A., de Bremond, A., DeFries, R., Dong, J., Fleischman, F., Lele, S., Martin, D. A., Messerli, P., Meyfroidt, P., Pfeifer, M., Rakotonarivo, S. O., Ramankutty, N., Ramprasad, V., Rana, P., Rhemtulla, J. M., Ryan, C. M., Vieira, I. C. G., Wells, G. J., & Garrett, R. D. (2023). How social considerations improve the equity and effectiveness of ecosystem restoration. *BioScience*. <https://doi.org/10.1093/biosci/biac099>
- Long, J., Tecle, A., & Burnette, B. (2003). Cultural foundations for ecological restoration on the White Mountain Apache Reservation. *Conservation Ecology*, 8(1). <https://www.jstor.org/stable/26271980>
- Lopez-Maldonado, Y., & Berkes, F. (2017). Restoring the environment, revitalizing the culture. *Ecology and Society*, 22(4). <https://www.jstor.org/stable/26798990>
- Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., & Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169–172. <https://science.org/doi/full/10.1126/science.1146961>
- Maltby, E., & Acreman, M. (2011). Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm. *Hydrological Sciences Journal*, 56, 1341 - 1359. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.631014>.

- Manzatto, C. V., Freitas Junior, E. D., & Peres, J. R. R. (2002). *Uso agrícola dos solos brasileiros* (p. 174). Embrapa Solos. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/328096>
- MapBiomias. (2022). *Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra entre 1985 a 2021. Coleção 7.* <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/FactSheet-Pantanal.pdf>
- MapBiomias. (2024, 5 de julho). *Até 25% da vegetação nativa do Brasil pode estar degradada.* <https://brasil.mapbiomas.org/2024/07/05/ate-25-da-vegetacao-nativa-do-brasil-pode-estar-degradada/#:~:text=Uma%20nova%20plataforma%20da%20rede,at%C3%A9%20135%20milh%C3%B5es%20de%20hectares.>
- Marengo, J. A. (2001). Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 16(1), 1–18. http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/05.25.18.19/doc/Marengo_mudancas%20climaticas%20globais%20e%20regionais.pdf
- Marengo, J. A., Ambrizzi, T., Barreto, N., Cunha, A. P., Ramos, A. M., Skansi, M., Carpio, J. M., & Salinas, R. (2022). The heat wave of October 2020 in central South America. *International Journal of Climatology*, 42(4), 2281–2298. <https://doi.org/10.1002/joc.7365>
- Marengo, J. A., Cunha, A. P., Cuartas, L. A., Deusdará Leal, K. R., Broedel, E., Seluchi, M. E., Michelin, C. M., Baião, C. F. de P., Ângulo, E. C., Almeida, E. K., Kazmierczak, M. L., Mateus, N. P. A., Silva, R. C., & Bender, F. (2021). Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, causes, and impacts. *Frontiers in Water*, 3, 639204. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204>
- Marques, J. F., Alves, M. B., Silveira, C. F., Silva, A. A., Silva, T. A., Dos Santos, V. J., & Calijuri, M. L. (2021). Fires dynamics in the Pantanal: Impacts of *anthropogenic* activities and climate change. *Journal of Environmental Management*, 299, 113586. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113586>

- Martin, T. G., Burgman, M. A., Fidler, F., Kuhnert, P. M., Low-Choy, S. A., McBride, M., & Mengersen, K. (2012). Eliciting expert knowledge in conservation science. *Conservation Biology*, 26(1), 29–38. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01806.x>
- Mastrantonis, S., et al. (2019). Climate change indirectly reduces breeding frequency of a mobile species through changes in food availability. *Ecosphere*, 10(4), e02656. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0182>
- Maxwell, S. L., Butt, N., Maron, M., McAlpine, C. A., Chapman, S., Ullmann, A., Segan, D. B., & Watson, J. E. (2019). Conservation implications of ecological responses to extreme weather and climate events. *Diversity and Distributions*, 25(4), 613–625. <https://doi.org/10.1111/ddi.12878>
- May, C. K. (2019). Governing resilience through power: Explaining community adaptations to extreme events in coastal Louisiana. *Rural sociology*, 84(3), 489-515. <https://doi.org/10.1111/RUSO.12252>.
- McLaughlin, D., & Cohen, M. (2013). Realizing ecosystem services: wetland hydrologic function along a gradient of ecosystem condition.. Ecological applications: a publication of the *Ecological Society of America*, 23 7, 1619-31 . <https://doi.org/10.1890/12-1489.1>.
- McMillen, H., Campbell, L. K., Svendsen, E. S., & Reynolds, R. (2017). The future is behind us: Traditional ecological knowledge and resilience over time on Hawai'i Island. *Regional Environmental Change*, 17, 579–592. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1032-1>
- McOwen, C., Jones, A., Simonson, W., Thornton, H., Miller, E., & García-Rangel, S. (2021). Enhancing climate change resilience of ecological restoration — A framework for action. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(3), 273–281. <https://doi.org/10.1016/J.PECON.2021.05.002>
- Meli, P., Holl, K. D., Rey-Benayas, J. M., Jones, H. P., Jones, P. C., Montoya, D., & Moreno Mateos, D. (2017). A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. *PLOS ONE*, 12(2), e0171368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171368>

- Merino, É., & Assine, M. (2019). Hidden in plain sight: How finding a lake in the Brazilian Pantanal improves understanding of wetland hydrogeomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45, 440 - 458. <https://doi.org/10.1002/esp.4745>.
- Miccolis, A., Peneireiro, F., Vieira, D., Marques, H., & Hoffmann, M. (2017). RESTORATION THROUGH AGROFORESTRY: OPTIONS FOR RECONCILING LIVELIHOODS WITH CONSERVATION IN THE CERRADO AND CAATINGA BIOMES IN BRAZIL. *Experimental Agriculture*, 55, 208 - 225. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000138>.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Mitsch, W. J., Gosselink, J. G., Zhang, L., & Anderson, C. J. (2009). *Wetland ecosystems*. John Wiley & Sons.
- Mittermeier, R., Câmara, I., Pádua, M., & Blanck, J. (1990). Conservation in the Pantanal of Brazil. *Oryx*, 24, 103 - 112. <https://doi.org/10.1017/S003060530003475X>.
- MMAMC – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2024, 2 de dezembro). Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) 2025-2028. Gov.br. Recuperado de https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbio/dflo/plano-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa-planaveg/planaveg_2025-2028_2dez2024.pdf
- MMAMC – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (s.d.). Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG). Gov.br. Recuperado de <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbio/dflo/plano-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa-planaveg>
- Molnár, Z., & Babai, D. (2021). Inviting ecologists to delve deeper into traditional ecological knowledge. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(8), 679-690. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.04.006>
- Montagnini, F., & Piotto, D. (2011). Mixed plantations of native tree species on abandoned pastures: Restoring productivity, ecosystem properties, and

- services on a humid tropical site. In S. Gunter, M. Weber, B. Stimm, & R. Mosandl (Eds.), *Silviculture in the tropics* (pp. 501–511). Springer. <https://www.researchgate.net/profile/Florencia-Montagnini/publication/290898645>
- Moore, J. W., & Schindler, D. E. (2022). Getting ahead of climate change for ecological adaptation and resilience. *Science*, 376(6600), 1421–1426. <https://doi.org/10.1126/science.abo3608>.
- Moretti, E. C., & Gonçalves, K. B. (2020). Pantanal Transfronteiriço (Bolívia-Brasil-Paraguai) e as áreas protegidas: Desafios da gestão diferenciada na zona de fronteira. *Confins*, 47. <https://doi.org/10.4000/confins.32597>
- Mossaz, A., Buckley, R. C., & Castley, J. G. (2015). Ecotourism contributions to conservation of African big cats. *Journal for Nature Conservation*, 28, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2015.09.009>
- MUPAN – Mulheres em Ação no Pantanal (Ed.). (2025). *Recuperação do Pantanal: um guia prático para a restauração ecológica* (1ª ed., livro eletrônico). Campo Grande, MS: MUPAN. <https://www.wwf.org.br>
- Nelson, M. K., & Shilling, D. (Eds.). (2018). Traditional ecological knowledge: Learning from Indigenous practices for environmental sustainability. Cambridge University Press.
- Oliveira, U., Paglia, A. P., Brescovit, A. D., De Carvalho, C. J., Silva, D. P., Rezende, D. T., ... Santos, A. J. (2016). The strong influence of collection bias on biodiversity knowledge shortfalls of Brazilian terrestrial biodiversity. *Diversity and Distributions*, 22(12), 1232–1244. <https://doi.org/10.1111/ddi.12489>
- Padovezi, A., Adams, C., Chazdon, R., Mendonça, M., Secco, L., Campos-Filho, E., Sampaio, A., Damasceno, E., Albuquerque, N., Santarem, F., Camargo, M., & Piña-Rodrigues, F. (2024). Native seed collector networks in Brazil: Sowing social innovations for transformative change. *People and Nature*. <https://doi.org/10.1002/pan3.10692>.
- Pelletier, M., Ebersole, J., Mulvaney, K., Rashleigh, B., Gutierrez, M., Chintala, M., Kuhn, A., Molina, M., Bagley, M., & Lane, C. (2020). Resilience of

aquatic systems: Review and management implications. *Aquatic Sciences*, 82(2), 44. <https://doi.org/10.1007/s00027-020-00717-z>.

Penhacek, M., Oliveira, L., Santos, C., Ribeiro, D., Lacerda, E., Krieger, J., Muanis, M., De Almeida-Rocha, J., Castilho, C., Barbosa, R., De Oliveira Roque, F., Fischer, E., Junqueira, A., Liévano-Latorre, L., Nunes, A., Nascimento, M., Pansini, S., De Oliveira Drummond, L., Rodrigues, D., Latawiec, A., Brabo, L., Willmer, J., Podgaiski, L., De Campos Franci, L., Gonçalves, S., Dória, C., Hoeltgebaum, M., Lopes, A., Noronha, J., Santos, F., Barros, C., Dreschler-Santos, E., Carpanedo, R., Desbiez, A., Córdova, M., Bergallo, H., Fernandes, G., Luz, J., Da Silva Machado, T., Cordeiro, C., Manes, S., Almeida, H., Rocha, D., De Matos, A., Akama, A., Anjos, M., Oliveira, J., Maioli-Azevedo, V., Antonini, Y., Strassburg, B., Barbosa, F., De Almeida Silveira, M., Tomas, W., Ferreira, V., Perdiz, R., Pontes, A., Scaramuzza, C., Santos, P., Iribarrem, A., Silveira, M., Silva, A., Crouzeilles, R., Iguatemy, M., Loyola, R., Da Cunha, C., Capellão, R., Oliveira, A., Monteiro, L., Rosado, B., Neckel-Oliveira, S., Camilo, A., Grelle, C., Cerqueira, R., Koroiva, R., Cavalheiro, L., Guilhon, G., Jakovac, C., Andrade, R., Dib, V., Manzatto, Â., Silveira, B., Niemeyer, J., Rabello, A., & Bahia, T. (2025). Addressing the urgent climate and biodiversity crisis through strategic ecosystem restoration in Brazil. *Biological Conservation*, 291, 110972. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110972>

Periotto, F., & Martensen, A. C. (2019). Restauro de áreas degradadas: Impactos geradores e processos de restauração ecológica. In A. R. Zabotto (Ed.), *Estudos sobre impactos ambientais: Uma abordagem contemporânea* (pp. 153–162). FEPAF. <https://www.researchgate.net/publication/336868436>

Pinto, C. E. T., Curvo, R. D. C., Rossete, A. N., & Vieira, L. R. (2011). Conflitos ambientais em áreas de preservação permanente nas cabeceiras do Alto rio Paraguai em Diamantino/MT e Alto Paraguai/MT–Brasil. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 15, 6216–2623. <http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte/2011/07.28.18.05/doc/p1423.pdf>

- Porto Junior, F. G. R., Alves, V. B., Oliveira, I. S. D. C., & Costa, J. S. D. (2021). A view about the importance of the Legal Amazon Indigenous peoples environmental management. *Revista Observatório*, 7(1), a3en. <https://doi.org/10.20873/uft.2447-4266.2021v7n1a3en>
- Pott, A., & Pott, V. (2004). Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. *Wetlands Ecology and Management*, 12, 547-552. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-1754-1>.
- Pott, A., Oliveira, A. K., Damasceno-Junior, G. A., & Silva, J. S. (2011). Plant diversity of the Pantanal wetland. *Brazilian Journal of Biology*, 71, 265–273. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000200005>
- Prasad, S. N., Ramachandra, T. V., Ahalya, N., Sengupta, T., Kumar, A., Tiwari, A. K., Vijayan, V. S., & Vijayan, L. (2002). Conservation of wetlands of India: A review. *Tropical Ecology*, 43(1), 173–186. <https://www.academia.edu/download/31544987/43113.pdf>
- Rattling Leaf Sr, J. (2022). What is Traditional Ecological Knowledge and why does it matter?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(1), 3-3. <https://doi.org/10.1002/fee.2465>
- Reid, H., & Alam, S. (2017). Ecosystem-based approaches to adaptation: evidence from two sites in Bangladesh. *Climate and Development*, 9, 518 - 536. <https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1167663>.
- Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., McElwee, P., Molnár, Z., Öllerer, K., Wilson, S. J., & Brondizio, E. S. (2019). The contributions of Indigenous Peoples and local communities to ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(1), 3–8. <https://doi.org/10.1111/rec.12894>
- Robinson, J. M., Gellie, N., MacCarthy, D., Mills, J. G., O'Donnell, K., & Redvers, N. (2021). Traditional ecological knowledge in restoration ecology: A call to listen deeply, to engage with, and respect Indigenous voices. *Restoration Ecology*, 29(4), e13381. <https://doi.org/10.1111/rec.13381>
- Rocha, V. M., Correia, F. W. S., Silva, P. R. T. D., Gomes, W. B., Vergasta, L. A., Moura, R. G. D., Trindade, M. S. P., Pedrosa, A. L., & Silva, J. S. D. (2017). Precipitation recycling in the Amazon basin: The role of moisture

transport and surface evapotranspiration. *Acta Amazonica*, 32(3), 387–398.
<https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/15723>

Rodrigues, R. R., Brancalion, P. H. S., & Isernhagen, I. (Eds.). (2020). Pacto pela Restauração da Mata Atlântica: Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. Instituto BioAtlântica.

Roque, F., Ochoa-Quintero, J., Ribeiro, D., Sugai, L., Costa-Pereira, R., Lourival, R., & Bino, G. (2016). Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. *Conservation Biology*, 30. <https://doi.org/10.1111/cobi.12713>.

Rorato, A. C., Escada, M. I. S., Camara, G., Picoli, M. C., & Verstegen, J. A. (2022). Environmental vulnerability assessment of Brazilian Amazon Indigenous lands. *Environmental Science & Policy*, 129, 19–36. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.12.005>

Rotta, M. A., Luna, H. S., & Weis, W. A. (2006). *Ecoturismo no Pantanal*. Embrapa Pantanal. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/812824/1/Livro027.pdf>

Sanches, R. A., Futemma, C. R. T., & Alves, H. Q. (2021). Indigenous territories and governance of forest restoration in the Xingu River (Brazil). *Land Use Policy*, 104, 104755. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104755>

Santini, N. S., & Miquelajauregui, Y. (2022). The restoration of degraded lands by local communities and Indigenous peoples. *Frontiers in Conservation Science*, 3, 873659. <https://doi.org/10.3389/fcosc.2022.873659>

Santos, F., Chaves, F., Negri, R., & Massi, K. (2024). Fires in Pantanal: The link to Agriculture, Conversions in Cerrado, and Hydrological Changes. *Wetlands*. <https://doi.org/10.1007/s13157-024-01832-5>.

Sartori, A. A. C., Silva, R. F. B., & Zimback, C. R. L. (2012). Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. *Revista Árvore*, 36(6), 1079–1090. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600009>

- Scaramuzza, C. A. D. M., Senta, M. M. D., Ferrarini, O. G., Strassburg, B. B. N., Hanson, C., Siqueira, L. P. D., Sansevero, J. B. B., Calmon, M. A. G., Moraes, M. A., Brancalion, P. H. S., Rodrigues, R. R., & Holvorcem, C. (2016). *Elaboração da proposta do plano nacional de recuperação da vegetação nativa*.
[https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9227/1/Elabora%
 %a3o%20da%20proposta.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9227/1/Elabora%c3%a7%c3%a3o%20da%20proposta.pdf)
- Schmidt, M. V. C., Ikpeng, Y. U., Kayabi, T., Sanches, R. A., Ono, K. Y., & Adams, C. (2021). Indigenous knowledge and forest succession management in the Brazilian Amazon: Contributions to reforestation of degraded areas. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 605925.
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.605925>
- Schulz, C., Whitney, B. S., Rossetto, O. C., Neves, D. M., Crabb, L., de Oliveira, E. C., Lima, P. L. T., Afzal, M., Laing, A. F., Fernandes, L. C. S., da Silva, C. A., Steinke, V. A., Steinke, E. T., & Saito, C. H. (2019). Physical, ecological and human dimensions of environmental change in Brazil's Pantanal wetland: Synthesis and research agenda. *Science of the Total Environment*, 687, 1011–1027.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.023>
- Schwartzman, S., & Zimmerman, B. (2005). Conservation alliances with Indigenous peoples of the Amazon. *Conservation Biology*, 19(3), 721–727.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00695.x>
- Sena, P., Gonçalves-Souza, T., Gonçalves, P., Ferreira, P., Gusmão, R., & Melo, F. (2021). Biocultural restoration improves delivery of ecosystem services in social-ecological landscapes. *Restoration Ecology*, 30.
<https://doi.org/10.1111/rec.13599>
- Shemshad, M., Synowiec, A., Kopyra, M., & Benedek, Z. (2025). The Community-Driven Ecosystem Resilience and Equity Framework: A Novel Approach for Social Resilience in Ecosystem Services. *Sustainability*, 17(8), 3452. <https://doi.org/10.3390/su17083452>

- Silva, E. R. A. C. (2018). *Agenda 2030: ODS - Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável*.
<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8855>
- Silva, E., Reardon, H., Soares, A., & Azeiteiro, U. (2021). Identity and Environment: Historical Trajectories of ‘Traditional’ Communities in the Protection of the Brazilian Amazon. . https://doi.org/10.1007/978-3-030-76624-5_15.
- Silva, J. S. V., & Abdon, M. M. (1998). Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33(13), 1703–1711.
<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/5050>
- Silva, R. A., Lapola, D. M., Patricio, G. B., Teixeira, M. C., Pinho, P., & Priess, J. A. (2016). Operationalizing payments for ecosystem services in Brazil’s sugarcane belt: How do stakeholder opinions match with successful cases in Latin America? *Ecosystem Services*, 22, 128–138.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.013>
- Silva, S. M. (2022). *O Pantanal e o fogo*.
<https://documentapantanal.com.br/wp-content/uploads/2022/01/O-Pantanal-e-o-fogo.pdf>
- Silva-Ávila, P., Catalán-Vázquez, M., & González-Hidalgo, J. C. (2025). Knowledge alliances for global change adaptation: A relational approach based on Traditional Ecological Knowledge, territorial management, and community practices in the Chilean context. *Sustainability*, 17(3), 1125.
<https://doi.org/10.3390/su17083653>
- Simoes, D., Guerrini, I., Da Silva, R., Silva, R., & Justino, S. (2024). Monitoring Environmental Degradation and Spatial Changes in Vegetation and Water Resources in the Brazilian Pantanal. *Sustainability*, 16(1), 51.
<https://doi.org/10.3390/su17010051>
- Simonson, W. D., Miller, E., Jones, A., García-Rangel, S., Thornton, H., & McOwen, C. (2021). Enhancing climate change resilience of ecological restoration—A framework for action. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(3), 300–310. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.05.002>

- Sinay, L., Sinay, M., Carter, R., & Passos, F. (2019). TRADITIONAL PEOPLE, PROTECTED AREAS AND TOURISM: A 15-YEAR BRAZILIAN CASE STUDY OF CULTURAL CHANGE. *Ambiente & Sociedade*. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC0070R4VU19L1AO>.
- Singleton, B., Aikenhead, G. S., & Johnson, J. T. (2021). Toward productive complicity: Applying 'Traditional Ecological Knowledge' in environmental science. *The Anthropocene Review*, 8(2), 117–138. <https://doi.org/10.1177/205301962111057>
- Steane, D., Prober, S., Stock, W., Potts, B., Vaillancourt, R., McLean, E., & Byrne, M. (2015). Climate-adjusted provenancing: a strategy for climate-resilient ecological restoration. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 65. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00065>
- Stevaux, J. C., de Azevedo Macedo, H., Assine, M. L., & Silva, A. (2020). Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. *Geomorphology*, 350, 106906. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106906>.
- Strassburg, B., Iribarrem, A., Beyer, H., Cordeiro, C., Crouzeilles, R., Jakovac, C., Junqueira, A., Lacerda, E., Latawiec, A., Balmford, A., Brooks, T., Butchart, S., Chazdon, R., Erb, K., Brancalion, P., Buchanan, G., Cooper, D., Díaz, S., Donald, P., Kapos, V., Leclère, D., Miles, L., Obersteiner, M., Plutzer, C., De M. Scaramuzza, C., Scarano, F., & Visconti, P. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586(7831), 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- Suding, K., Higgs, E., Palmer, M., Callicott, J. B., Anderson, C. B., Baker, M., Gutrich, J. J., Hondula, K. L., Lavefor, M. C., Larson, B. M. H., Randall, A., Ruhl, J. B., & Schwartz, K. Z. (2015). Committing to ecological restoration. *Science*, 348(6235), 638–640. <https://doi.org/10.1126/science.aaa4216>
- Szabo, J., Libonati, R., Martins, P., Belém, L., & Garcia, L. (2022). Prioritising areas for wildfire prevention and post-fire restoration in the Brazilian Pantanal. *Ecological Engineering*, 174, 106517. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106517>

- Taillardat, P., Thompson, B. S., Garneau, M., Trottier, K., & Friess, D. A. (2020). Climate change mitigation potential of wetlands and the cost-effectiveness of their restoration. *Interface Focus*, 10(5), 20190129. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2019.0129>
- Tambosi, L. R., Martensen, A. C., Ribeiro, M. C., & Metzger, J. P. (2014). A framework to optimize biodiversity restoration efforts based on habitat amount and landscape connectivity. *Restoration Ecology*, 22(2), 169–177. <https://doi.org/10.1111/rec.12049>
- Thielen, D., Quintero, J., Rojas, W., Ramoni-Perazzi, P., Márquez, M., Marques, M., & Schuchmann, K. (2020). Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. *PLoS ONE*, 15(1), e0227437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227437>
- Timpane-Padgham, B., Beechie, T., & Klinger, T. (2017). A systematic review of ecological attributes that confer resilience to climate change in environmental restoration. *PLoS ONE*, 12(3), e0173812. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173812>
- Tomas, W. M., Berlinck, C. N., Chiaravalloti, R. M., Faggioni, G. P., Strüssmann, C., Libonati, R., Abrahão, C. R., Alvarenga, G. V., Bacellar, A. E. F., Batista, F. R. Q., Bornato, T. S., Camilo, A. R., Castedo, J., Fernando, A. M. E., Freitas, G. O., Garcia, C. M., Gonçalves, H. S., Guilherme, M. B. F., Layme, V. M. G., Lustosa, A. P. G., De Oliveira, A. C., Oliveira, M. R., Pereira, A. M. M., Rodrigues, J. A., Semedo, T. B. F., Souza, R. A. D., Tortato, F. R., Viana, D. F. P., Vicente-Silva, L., & Morato, R. (2021). Distance sampling surveys reveal 17 million vertebrates directly killed by the 2020's wildfires in the Pantanal, Brazil. *Scientific Reports*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02844-5>
- Tortato, F. R., Ribas, C., Concione, H. V. B., & Hoogesteijn, R. (2021). Turismo de observação de mamíferos no Pantanal. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 16(3), 351–370. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v16i3.814>

- Tozato, H. C. (2017). Gestão de áreas protegidas no Brasil: Instrumentos de monitoramento da biodiversidade nos sítios Ramsar. *Revista Gestão & Políticas Públicas*, 7(2), 147–169. <https://doi.org/10.11606/issn.2237-1095.v7p147-169>
- Tran, T. C., Ban, N. C., & Bhattacharyya, J. (2020). A review of successes, challenges, and lessons from Indigenous protected and conserved areas. *Biological Conservation*, 241, 108271. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108271>
- UNGA. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (A/Res/70/1). <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>
- UNGA. (2019). *Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019: 73/284 – United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030)*. <https://digitallibrary.un.org/record/3794317?ln=ru>
- Urzedo, D., Fisher, R., Sá, D., & Junqueira, R. (2020a). Indigenous Participation in the Native Seed Market: Adapting Ethnic Institutions for Ecological Restoration in the Southeastern Amazon, 287-309. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29153-2_12.
- Urzedo, D., Pedrini, S., Vieira, D., Sampaio, A., Souza, B., Campos-Filho, E., Piña-Rodrigues, F., Schmidt, I., Junqueira, R., & Dixon, K. (2021). Indigenous and local communities can boost seed supply in the UN decade on ecosystem restoration. *Ambio*, 51, 557 - 568. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01593-z>.
- Urzedo, D., Piña-Rodrigues, F., Feltran-Barbieri, R., Junqueira, R., & Fisher, R. (2020b). Seed Networks for Upscaling Forest Landscape Restoration: Is It Possible to Expand Native Plant Sources in Brazil?. *Forests*, 11(3), 259. <https://doi.org/10.3390/f11030259>.
- Vachiano, M., Da Silva Nunes, J., & Da Silva, C. (2024). STRENGTHS, WEAKNESSES, OPPORTUNITIES AND THREATS (SWOT MATRIX) OF TRADITIONAL COMMUNITIES UNDER THE PERSPECTIVE OF ECOLOGICAL AND SOCIOCULTURAL RESILIENCE IN THE PANTANAL

BIOSPHERE RESERVE, MATO GROSSO, BRAZIL. ARACÊ.
<https://doi.org/10.56238/arev6n4-446>.

Van Velthem Linke, I., Awaeko Apalai, C., Guimarães Vieira, I. C., & Araújo Santos Jr, R. (2020). Territorial and environmental management in the Indigenous lands of Paru de Leste River: A collective challenge in the northern Brazilian Amazon. *Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate*, 11(1), 51–82. <https://doi.org/10.18472/sustdeb.v11n1.2020.19804>

Vega, A., Fraser, J., Torres, M., & Loures, R. (2022). Those who live like us: Autodemarcations and the co-becoming of Indigenous and beiradeiros on the Upper Tapajós River, Brazilian Amazonia. *Geoforum*. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2022.01.003>.

Viaroli, P., Bartoli, M., & Vymazal, J. (2016). Preface: Wetlands biodiversity and processes—tools for conservation and management. *Hydrobiologia*, 774, 1 - 5. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2793-8>.

Wehi, P. M., & Lord, J. M. (2017). Importance of including cultural practices in ecological restoration. *Conservation Biology*, 31(5), 1109–1118. <https://doi.org/10.1111/cobi.12915>

Wehi, P. M., & Lord, J. M. (2017). Importance of including cultural practices in ecological restoration. *Conservation Biology*, 31(5), 1109–1118. <https://doi.org/10.1111/cobi.12915>

Welch, J. R., & Coimbra Jr, C. E. (2021). Indigenous fire ecologies, restoration, and territorial sovereignty in the Brazilian Cerrado: The case of two Xavante reserves. *Land Use Policy*, 104, 104055. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104055>

Welch, J., & Coimbra, C. (2019). Indigenous fire ecologies, restoration, and territorial sovereignty in the Brazilian Cerrado: The case of two Xavante reserves. *Land Use Policy*, 104055. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104055>.

White, M., Hartig, T., Martin, L., Pahl, S., Van Den Berg, A., Wells, N., Costongs, C., Dzhambov, A., Elliott, L., Godfrey, A., Hartl, A., Konijnendijk, C., Litt, J., Lovell, R., Lymeus, F., O'Driscoll, C., Pichler, C., Pouso, S.,

- Razani, N., Secco, L., Steininger, M., Stigsdotter, U., Uyarra, M., & Van Den Bosch, M. (2023). Nature-based biopsychosocial resilience: An integrative theoretical framework for research on nature and health.. *Environment international*, 181, 108234 . <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108234>.
- Wissmar, R. C., & Beschta, R. L. (1998). Restoration and management of riparian ecosystems: A catchment perspective. *Freshwater Biology*, 40(3), 571–585. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1998.00383.x>
- Yi, C., & Jackson, N. (2021). A review of measuring ecosystem resilience to disturbance. *Environmental Research Letters*, 16(5), 053008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdf09>.
- Young, O. (2021). Escaping social and socioecological traps in complex systems. *Grand Challenges of Planetary Governance*. 93–108 <https://doi.org/10.4337/9781802200720.00010>.
- Zhang, Q., Xia, H., Cheng, X., Wang, X., He, T., Ding, W., Zhang, K., Cai, Y., Zhang, Y., & Zhang, J. (2024). Meta-analysis shows the impacts of ecological restoration on greenhouse gas emissions. *Nature Communications*, 15(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46991-5>

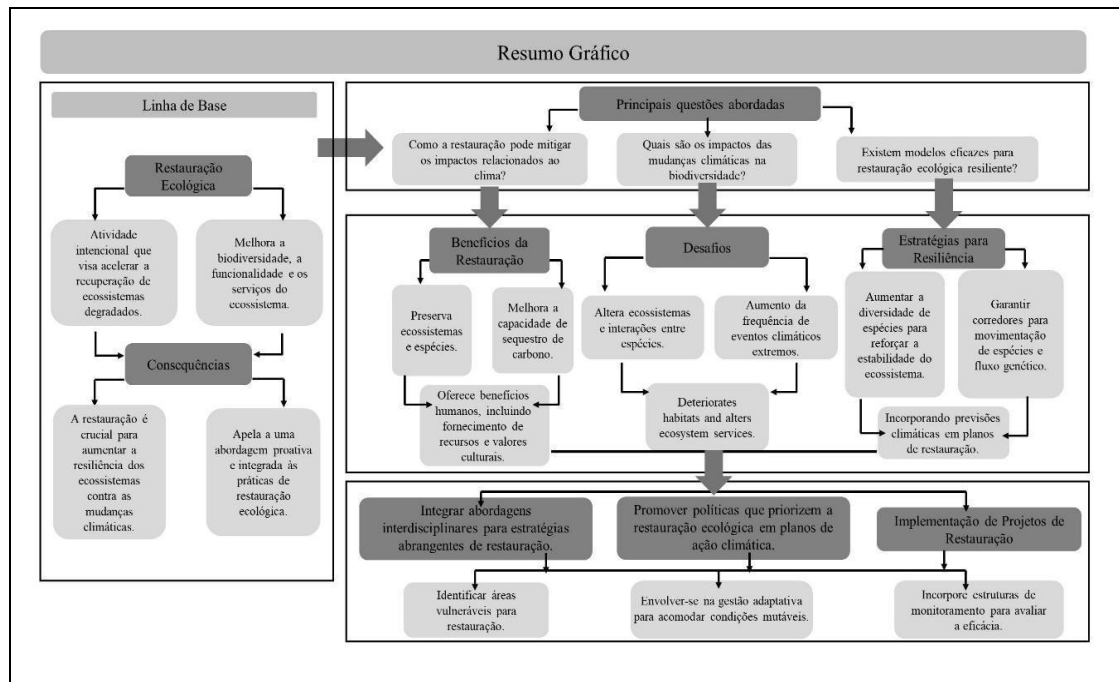
PARTE 2

NARRATIVA SOBRE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS

Resumo: A restauração ecológica é uma intervenção ampla e transdisciplinar que abrange todos os ecossistemas. A restauração ecológica é uma atividade intencional que visa acelerar a recuperação de ecossistemas degradados pela antropização ou desastres naturais. Ela enfrenta desafios na priorização da recuperação de funções, recursos e serviços ecossistêmicos em meio à evolução contínua dos ecossistemas devido a espécies, mudanças climáticas, evolução do uso da terra e alterações nos ciclos biogeoquímicos. A mudança climática contínua é reconhecida como o impacto desafiador na (r)evolução dos ecossistemas. Para relatar o estado atual da pesquisa em restauração ecológica, formulamos três questões centrais: (i) Como podemos buscar resiliência por meio da restauração ecológica da perspectiva da biodiversidade e do clima futuro? (ii) Quais são as consequências das mudanças climáticas na biodiversidade? (iii) Existem ideias/modelos de pesquisa em restauração ecológica que se concentram na conservação/restauração da biodiversidade e que são projetados para serem resilientes a condições futuras? Enfatizamos a implementação de projetos de restauração ecológica para apoiar a resiliência do meio ambiente sob condições climáticas futuras; para melhorar o bem-estar do ecossistema e minimizar sua degradação.

Palavras-chave: restauração de ecossistemas, mudanças climáticas, resiliência ambiental, conservação de biomas

¹ Artigo submetido na revista *Studia Ecologiae et Bioethicae* no dia 13 de junho de 2025, em língua inglesa. A revista *Studia Ecologiae et Bioethicae*, publicada pela Universidade Cardinal Stefan Wyszyński (Polônia). No cenário internacional, é classificada como Q4 em Ciências Ambientais segundo o SCImago Journal Rank (SJR 2024: 0.152), possui CiteScore 0.4 e índice h igual a 4 na base Scopus. De acordo com a plataforma Resurchify, seu Impact Score é de 0.32 (2023). O artigo tem como co-autores: Carlos Hiroo Saito e Aneta Afelt.



1. INTRODUÇÃO

As consequências das mudanças climáticas são evidentes em nossa vida cotidiana. O quinto relatório do IPCC (2023) expôs evidências e identificou impactos esperados e riscos futuros associados às mudanças climáticas em três períodos: curto prazo (2021-2040), médio prazo (2041-2060) e longo prazo (2081-2100), assumindo que o aquecimento global exceda 1,5 °C em todo o mundo.

A atividade humana é atribuída como o impulsionador da aceleração das mudanças climáticas. Para as consequências na biosfera, como a extinção de espécies e a fragmentação de habitats nos últimos 300 a 500 anos, o processo principal são as mudanças na cobertura do solo por sua antropização (Zhao et al., 2019; Penjor et al., 2020; Jaureguiberry et al., 2022). Desde o período pós-guerra, que compreende o final da década de 1940 e o início da década de 1950, marcado como grande aceleração, o impacto humano no funcionamento do sistema terrestre foi denominado Antropoceno, após sublinhar o impacto antropogênico na qualidade e quantidade do ecossistema global (Laurance, 2019; Gibbard et al., 2022; Shaw et al., 2011; Johnson et al., 2017). As atividades antropogênicas, particularmente as mudanças na estrutura do uso da terra, alteram as propriedades da superfície terrestre, como albedo, rugosidade e evapotranspiração (Healey, 2020; Zhao et al., 2021). Essas alterações, combinadas com as mudanças climáticas, impactam ecossistemas terrestres e aquáticos. Por outro lado, precisamos considerar os serviços ecossistêmicos, referindo-se aos benefícios para os humanos, tanto econômicos como não econômicos, que derivam de ecossistemas naturais (Danley & Widmark, 2016; Cord et al., 2017; Sannigrahi et al., 2019).

O bem-estar humano depende da qualidade dos seus serviços e abrange uma ampla gama de funções, desde o fornecimento de recursos (água, solo, alimentos, etc.) até a regulação das condições ambientais (como, por exemplo, conforto térmico) e o suporte de atividades culturais tradicionais (Kremen, 2005; Fisher et al., 2013; Torres et al., 2021). Pode-se dizer que um número crescente de projetos de restauração ecológica está sendo implementado para melhorar o meio ambiente e evitar a degradação do ecossistema (Wang et al., 2023; Liu et al., 2024), incluindo pagamentos por

serviços ecossistêmicos como um instrumento baseado em incentivos para aprimorar projetos de restauração pela participação da comunidade (Bullock et al., 2011; Huang et al., 2018), mas sua conexão direta com as mudanças climáticas ainda precisa ser profundamente compreendida (Yang et al., 2021; Svejcar et al., 2023). Muitos projetos de restauração carecem de estruturas de monitoramento abrangentes, o que dificulta a capacidade de avaliar os resultados e melhorar os esforços futuros (Lindenmayer, 2020; Méndez- Toribio et al., 2021). O monitoramento eficaz deve incluir indicadores ecológicos e sociais para avaliar o impacto total dos projetos de restauração, como o rastreamento da benefícios da restauração e a qualidade desses benefícios (Martin & Lyons, 2018; Lindenmayer, 2020).

Visando contribuir para esse debate, este trabalho analisa a restauração ecológica sob a perspectiva da influência mútua dos impactos das mudanças climáticas e da mitigação da perda de biodiversidade, respondendo a três perguntas: (i) Como podemos buscar resiliência por meio da restauração ecológica da perspectiva da biodiversidade e do clima futuro? (ii) Quais são as consequências das mudanças climáticas na biodiversidade e as consequências são inevitáveis; elas podem ser evitadas ou alteradas? (iii) Existem ideias/modelos de pesquisa de restauração ecológica com foco na conservação da biodiversidade, projetados para serem resilientes a condições futuras?

2. MÉTODOS

Para responder a essas questões, desenvolvemos uma revisão narrativa da literatura a partir do acesso a publicações científicas relacionadas ao tema “Restauração Ecológica”, com foco em “Biodiversidade” e “Mitigação das Mudanças Climáticas”. O período que abrange as publicações estendeu-se de 2013 a 2024. Uma revisão narrativa baseia-se na abordagem tradicional em que o autor faz uma revisão crítica e interpretativa de estudos relevantes, organizando e dividindo-os em temas (Green et al., 2006; Juntunen & Lehenkari, 2019). A revisão narrativa não segue uma estrutura rígida e permite uma análise mais subjetiva dos estudos selecionados.

A estrutura de “Restauração Ecológica” foi usada como palavras-chave

“Restauração Ecológica e Biodiversidade”; “Restauração Ecológica e Mudanças Climáticas”; “Restauração Ecológica” e suas derivações em inglês. Quatro bases de dados foram consideradas: Google Acadêmico, SciELO ², Scopus e Web of Science. A análise dos artigos selecionados foi feita por meio dos critérios: título, resumo, palavras-chave e resultados, para determinar se eles correspondem ao objetivo dos princípios da revisão. O estudo aborda a tendência geral, a preocupação e as conclusões como um estado da arte sobre o tema.

Assim, para obter estudos que abrangessem os termos, realizamos buscas nas plataformas (nos anos de 2023 e 2024), em acesso aberto, combinando as seguintes palavras-chave para (Fig. 1): (i) mudança climática ('mudança climática' OR 'mudança global'), (ii) restauração ecológica e/ou ecossistemas, reflorestamento ('ecológico' AND 'restauração' OR 'ecossistema' AND 'restauração'), (iii) biodiversidade e/ou diversidade biológica. Esses termos foram combinados com as mesmas palavras-chave para (Fig. 1): restauração ecológica, restauração de ecossistemas, reflorestamento, biodiversidade, diversidade biológica, mudança climática. Por fim, combinamos os registros únicos de cada uma dessas buscas em um único banco de dados (Excel).

² A Scientific Electronic Library Online é uma base de dados e biblioteca eletrônica de acesso aberto que agrega e indexa uma ampla gama de periódicos científicos revisados por pares. Originalmente desenvolvida para aumentar a visibilidade e a acessibilidade de pesquisas da América Latina e do Caribe, ela se expandiu para incluir periódicos da Espanha, Portugal e outras regiões. Ela oferece acesso a pesquisas que podem estar sub-representadas em bases de dados globais maiores, especialmente estudos conduzidos na América Latina e outras regiões emergentes.

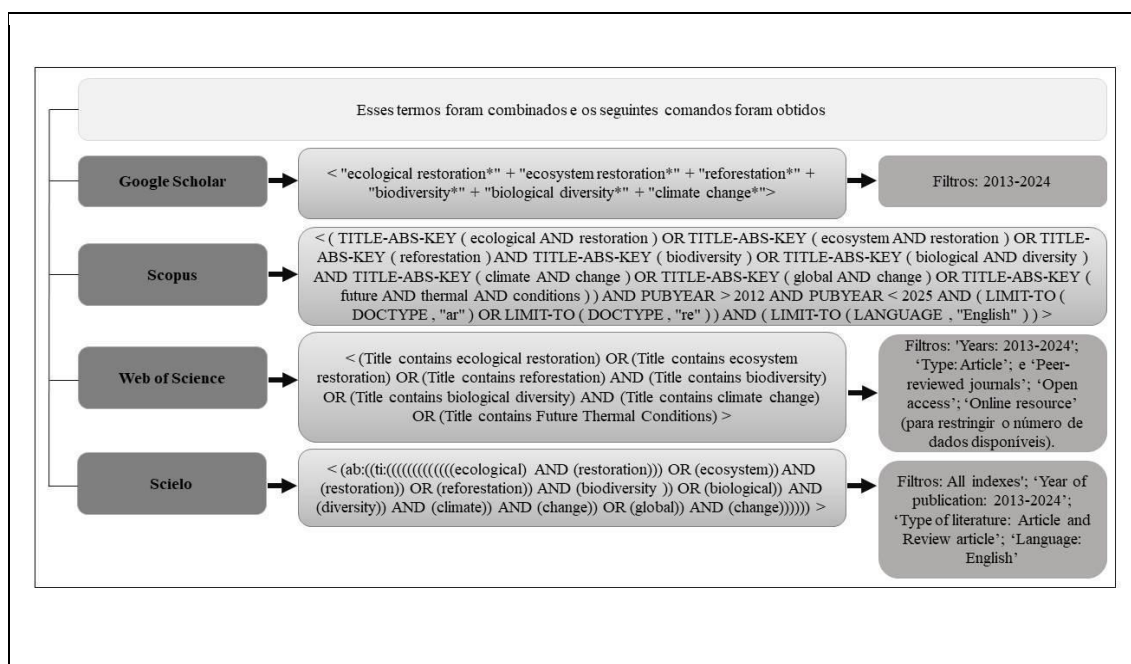


Figura 1. Os termos combinados foram aplicados às bases de dados Google Scholar, Scopus, Web of Science e Scielo, com foco em restauração ecológica, biodiversidade e mudanças climáticas, para artigos publicados entre 2013 e 2024.

Foram obtidos um total de 7.544 artigos: 836 do Google Acadêmico, 1.687 da Scopus, 53 da Scielo e 4.968 da Web of Science, dos quais 1.350 foram retidos após exame dos resumos e conclusões e leitura superficial do texto principal (Fig. 2). Dessas 1.709 publicações, um terceiro filtro foi realizado, retraindo artigos que abordavam especificamente a ecologia da restauração e adaptação às mudanças climáticas e a ecologia da restauração e resiliência às mudanças climáticas, resultando em um total de 85 artigos (Fig. 2). Desses, n são artigos de língua inglesa. Portanto, consideramos como critério de inclusão a presença da restauração ecológica como principal fator (Soluções Baseadas na Natureza, Seddon et al. 2020) para mitigação e adaptação às mudanças climáticas e conservação da biodiversidade. No entanto, não excluímos as demais referências, e as utilizamos para complementar as informações ao longo do texto.

A compilação dos dados levou a uma análise conceitual qualitativa, não havendo a intenção de apresentar uma visão quantitativa do número de artigos por categorização. As seções a seguir apresentarão, portanto, uma narrativa

sinéctica da revisão conceitual das questões, buscando responder às perguntas que constituem o principal objetivo deste processo de revisão.

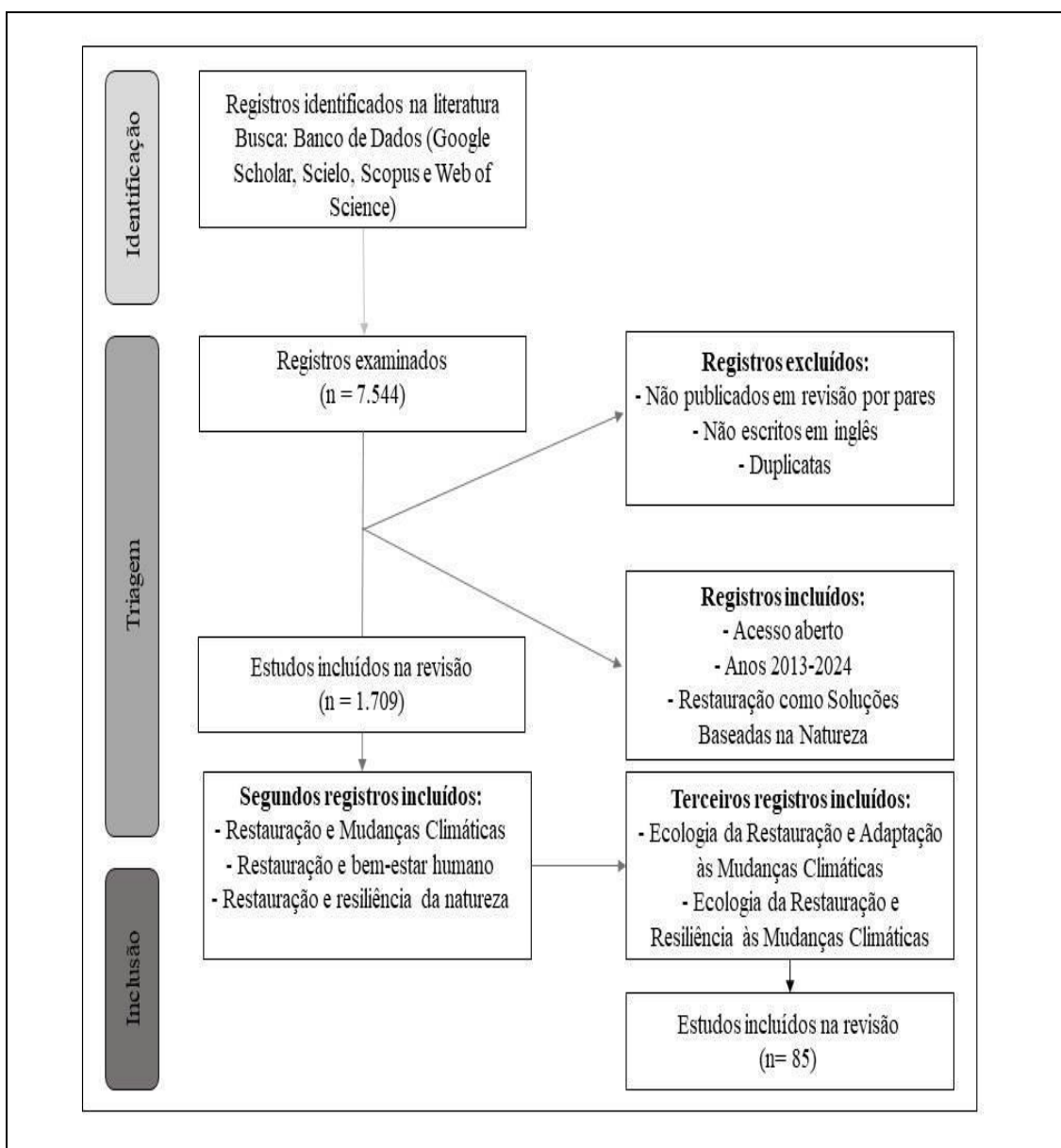


Figura 2. Processo de revisão bibliográfica, que inclui três etapas distintas: identificação, triagem (exclusão) e inclusão. Na fase de identificação, foram coletados todos os resultados de busca nas plataformas Google Acadêmico, Scielo, Scopus e Web of Science. Em seguida, na etapa de triagem, foram excluídos todos os resultados de busca que não atenderam aos critérios pré-estabelecidos. Nas análises finais, apenas 85 foram incluídos.

3. ECOLOGIA DA RESTAURAÇÃO

A crescente frequência e escala de atividades empíricas focadas na recuperação ambiental despertaram interesse interdisciplinar, dando origem ao campo da “Ecologia da Restauração”. (Rodrigues et al. 2015; Tedesco et al. 2023). “Ecologia da Restauração” é um termo com uma conotação específica ao longo do tempo, representando um campo científico associado às práticas de restauração de ecossistemas (Clewell & Aronson, 2013; Martin, 2017). A integração de diferentes disciplinas na pesquisa em ecologia da restauração ainda é limitada, conforme destacado por Seddon et al. (2020), que abordam soluções baseadas na natureza e sua aplicação em políticas de conservação. As definições de “Ecologia da Restauração” evoluíram ao longo do tempo, conforme ilustrado pelas mudanças nas definições da Ecological Restoration Society (SER) na década de 90, século XX, refletindo um processo contínuo de refinamento (Higgs, 1997). Uma linha do tempo é apresentada para demonstrar essa evolução (Fig. 3) A Restauração Ecológica pode ser resumida como *“uma atividade intencional que visa acelerar a recuperação de ecossistemas degradados por ações humanas ou agentes naturais, garantindo que eles possam recuperar seu estado anterior à perturbação”*. (SER, 2004, traduzido em português pelo autor).

Higgs et al. (2018) expandiram essa perspectiva, defendendo uma abordagem contextual que abrange aspectos históricos, sociais, políticos, culturais, estéticos e morais. Engel e Parrota (2003) propôs uma definição holística para “Restauração Ecológica”, contendo a prática e a arte de auxiliar e administrar. A restauração ecológica passou então a considerar os valores ecológicos, econômicos e sociais dos processos ecológicos, apresentados na Figura 2, caracterizando um avanço no conceito de restauração ecológica quando posteriormente endossado pela SER em 2004. Mesmo assim, segundo Martin (2017), o entendimento da restauração ecológica é duplo: envolve o que a restauração realiza, auxiliando na recuperação das condições do ecossistema e preservando sua estrutura, processos e funções ecológicas; e por que a restauração é buscada, visando cumprir valores e crenças compartilhados nas comunidades tradicionais e na sociedade em geral.

1994	O conjunto total de ideias e práticas (sociais, científicas, econômicas, políticas) envolvidas na restauração de ecossistemas. HIGGS 1994	• Ideias • Práticas
1997	O processo de renovação e manutenção da saúde dos ecossistemas. HIGGS 1997	• Renovação • Manutenção • Saúde
2002	O processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído SER 2002	• Assistência • Recuperação • Degradação • Desfazendo
2003	É a ciência, prática e arte de auxiliar e gerenciar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando seus valores ecológicos, econômicos e sociais. Engel e Parrota 2003	• Ciência • Prática • Arte • Assistente • Gerenciar • Valores * Ecológico * Econômico * Social
2004	O processo de ajudar a recuperar um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. SER 2004	• Assistência • Recuperação
2004	O processo de restauração de um ou mais processos ou atributos valiosos de uma paisagem. Davis e Slobodkin 2004	• Restauração • Atributos • Valorização • Paisagem
2013	O conjunto total de ideias e práticas (sociais, científicas, econômicas, políticas) envolvidas na restauração de ecossistemas. Shackelford et al. 2013	• Conjunto • Ideias • Práticas * Social * Científico * Econômico • Políticas
2016	O processo de gerenciar ou auxiliar na recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído como meio de sustentar a resiliência do ecossistema e conservar a biodiversidade. CBD 2016	• Gestão • Assistência • Recuperação • Resiliência • Biodiversidade
2017	O processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema degradado, danificado ou destruído para refletir os valores considerados inerentes ao ecossistema e fornecer bens e serviços que as pessoas valorizam. Martin 2017	• Assistência • Recuperação • Refletir • Valores • Bens e serviços
2019	O processo de auxiliar na recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído + os Oito Princípios que sustentam a Restauração Ecológica. Gann et al. 2019	• Assistência • Recuperação • Princípios

Figura 3. Linha do tempo da evolução do conceito de Restauração Ecológica nos últimos 30 anos. Fonte: Autores.

É importante notar que a “Ecologia da Restauração” deve ser entendida

como uma ciência ampla e transdisciplinar, abrangendo todos os ecossistemas naturais, tanto terrestres quanto aquáticos, desde recifes de corais até florestas tropicais e tundra. A restauração ecológica enfrenta desafios na priorização da recuperação de funções, recursos e serviços ecossistêmicos em meio à evolução contínua dos ecossistemas devido a invasões de espécies, mudanças climáticas, histórico de uso da terra e alterações nos ciclos biogeoquímicos (Rillig et al., 2019; Ma et al., 2021; Alexandra, 2022).

As mudanças climáticas impactam diretamente os serviços de suporte ecossistêmico por meio de variações de precipitação e temperatura, influenciando indiretamente os serviços de fornecimento e regulação ao alterar a intensidade do uso e cobertura da terra (Runting et al., 2017; Peng et al., 2020). Os esforços de restauração concentram-se na gestão de mudanças inevitáveis e na preservação de benefícios ecológicos valiosos, incluindo a estética (Hobbs & Cramer, 2008; Ma et al., 2021), impactando assim os resultados das iniciativas de restauração. No entanto, a ciência atual das respostas dos serviços ecossistêmicos às mudanças climáticas muitas vezes depende de análises estáticas, negligenciando mudanças espaço-temporais dinâmicas em um período de tempo mais longo (Clerici et al., 2019; Pham et al., 2019; Shirmohammadi et al., 2020).

Debates recentes evoluíram para definir um modelo para a restauração ecológica, a fim de atingir seu potencial máximo na promoção da equidade social e ambiental, obtendo benefícios e alcançando resultados econômicos (Gann et al., 2019). A ecologia da restauração oferece oportunidades para reverter tendências de conversão de habitats, criando habitats que promovam a biodiversidade. A restauração ecológica passou a ter destaque na arena política mundial desde a instituição da Década das Nações Unidas para a Restauração de Ecossistemas (2021–2030; UNGA, 2019), que reconheceu sua importância para atingir as metas estabelecidas na COP 15 (UNGA, 2019; CDB 2012; 2016; 2022; Lerambert, 2022).

Trabalhos recentes sobre restauração de ecossistemas estão tentando integrar o potencial da restauração florestal à mitigação das mudanças climáticas. De acordo com Littleton et al. (2021), a simulação de diferentes cenários de restauração pelo Modelo de Vegetação Global Dinâmico indicou que essas estratégias de restauração poderiam sequestrar 93 Gt C adicionais

até 2100, reduzindo potencialmente o aumento da temperatura média global em aproximadamente 0,12 °C. Outros estudos visaram determinar áreas de restauração prioritárias que, se 15% das terras convertidas fossem restauradas, poderiam prevenir 60% das extinções esperadas e sequestrar 299 gigatoneladas de CO₂, o equivalente a 30% do aumento total de CO₂ desde a Revolução Industrial (Ferrier, 2020; Strassburg et al., 2020). Se esses resultados podem fortalecer a restauração de ecossistemas na arena política das mudanças climáticas e sua mitigação, por outro lado, podem limitar seu foco e potencial ao sequestro de carbono, ignorando toda a complexidade envolvida.

4. RESILIÊNCIA ECOLÓGICA ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS

A resiliência na restauração ecológica pode ser aprimorada ao focar em atributos biológicos, químicos e físicos, como diversidade, conectividade e adaptabilidade, que são aplicáveis a várias espécies e ecossistemas (Timpane-Padgham et al., 2017; Gladstone-Gallagher et al., 2019; Moreno-Mateos et al., 2020; Ren & Coffman, 2023). Esses atributos são categorizados em diferentes níveis, incluindo níveis individual, populacional, comunitário, ecossistêmico e de processo, cada um adequado a escalas e ações específicas de restauração (Mori, 2016; Oliver et al., 2015; Timpane-Padgham et al., 2017; Moreno-Mateos et al., 2020). Estratégias como a procedência ajustada ao clima, que alavancam a variabilidade genética em espécies de plantas, podem melhorar a adaptabilidade dos esforços de restauração às condições climáticas futuras (Prober et al., 2015; Gross et al., 2017; Carvalho et al., 2020; Walters et al., 2022).

À medida que as mudanças climáticas introduzem novos desafios, a integração da resiliência às práticas de restauração é essencial para garantir o sucesso a longo prazo e a adaptabilidade dos ecossistemas (Stefanes et al., 2016; Ren & Coffman, 2023). Os esforços de restauração guiados por condições históricas, como os das florestas de pinheiros Ponderosa, no sudoeste dos EUA, podem aumentar a resiliência ao manter a estrutura da floresta e reduzir os riscos de incêndio (Stoddard et al., 2021). Neste estudo

conduzido em uma floresta sazonalmente seca submetida a condições de incêndio frequente, a mensuração de áreas experimentais estabelecidas há 20 anos, a análise das condições da floresta e a simulação de condições futuras sob um cenário climático de aquecimento (RCP 4.5) com intervalos variáveis de retorno de fogo prescritos mostraram que as áreas tratadas com fogo de copa reduzido apresentaram menor mortalidade de árvores e maior crescimento de diâmetro em comparação aos controles. A comparação das condições históricas e de linha de base ajuda os ecossistemas a resistirem aos estressores climáticos e a manter as funções ecológicas ao longo do tempo.

Em outro estudo que relacionou os impactos das mudanças climáticas nos esforços e resultados da restauração, O'Donnell et al. (2018) concluíram que as mudanças climáticas e os incêndios de alta severidade aceleram a renovação florestal, reduzem a biomassa e alteram a composição de espécies. No entanto, os tratamentos de restauração reduziram efetivamente a extensão dos incêndios de alta severidade e retardaram o declínio da floresta em altitudes mais elevadas, além de reverter as perdas no escoamento anual. Da mesma forma, He et al. (2019), utilizando um modelo hidrológico distribuído na Bacia do Rio Huangshui, na província de Qinghai, na China, mostraram que a restauração de encostas impacta significativamente os processos de escoamento, reduzindo a variabilidade e equilibrando os extremos em condições climáticas históricas (1960–2017). Além disso, a incorporação do envolvimento da comunidade e a expansão dos indicadores de monitoramento fortalecem os resultados da restauração, abordando as incertezas associadas aos impactos das mudanças climáticas e reforçando os sistemas socioecológicos (Ren & Coffman, 2023).

A diversidade de espécies vegetais desempenha um papel fundamental no aumento do sucesso da restauração. A obtenção de germoplasma que capitalize a diversidade genética garante que os ecossistemas restaurados sejam mais adequados às condições climáticas futuras (Prober et al. 2015; Vitt et al. 2022). Isso inclui o uso de modelos adaptativos de vegetação que integram projeções climáticas, saúde do solo e adaptabilidade das espécies para refinar estratégias de restauração (Dharmawan et al. 2024), com foco na restauração funcional, mas mantendo a atenção para selecionar fontes de espécies nativas locais. Em regiões como florestas tropicais de pântanos de

turfa degradados, práticas como paludicultura e agrofloresta melhoram a resiliência, promovendo a biodiversidade e se adaptando às variáveis climáticas em evolução. Projetos de restauração normalmente aumentam a biodiversidade em 20-43% em comparação com locais degradados, embora frequentemente fiquem aquém de atingir os níveis de biodiversidade de ecossistemas intocados em cerca de 13% (Huang et al., 2019; Atkinson et al., 2022).

O envolvimento da comunidade e o monitoramento abrangente são essenciais para uma restauração eficaz (Druschke & Hychka, 2015; Grimm et al., 2024). As comunidades locais mantêm conhecimentos tradicionais valiosos sobre como gerenciar ecossistemas sem perturbar seu equilíbrio, e seus conhecimentos ancestrais aumentam a resiliência socioecológica das áreas restauradas (Melo e Saito, 2013; Reyes-García et al., 2018; Kandal et al., 2021). A participação dos Povos Indígenas e Comunidades Locais (PICLs) é vital para manter as práticas tradicionais e garantir o sucesso a longo prazo dos projetos de restauração. O envolvimento das comunidades locais em projetos de restauração permite a integração do conhecimento tradicional, o que pode melhorar os resultados da restauração e garantir que os projetos sejam culturalmente relevantes e sustentáveis (Reyes-García et al., 2018; Kandal et al., 2021; Grimm et al., 2024). Projetos que envolvem as comunidades em todo o processo de restauração tendem a ser mais bem-sucedidos e a proporcionar inúmeros benefícios à comunidade, embora o monitoramento social para avaliar esses benefícios seja frequentemente inexistente (Druschke & Hychka, 2015; Grimm et al., 2024). A participação dos Povos Indígenas e Comunidades Locais (PICLs) é vital para a manutenção de práticas tradicionais e para garantir o sucesso a longo prazo dos projetos de restauração. Projetos bem-sucedidos geralmente envolvem PICLs na co-criação de atividades e no reconhecimento de suas tradições (Reyes-García et al., 2018).

A expansão dos indicadores de monitoramento para incluir dimensões socioecológicas melhora a capacidade de enfrentar desafios complexos associados às mudanças climáticas (Belgacem et al., 2019; Issoufou et al. 2020). A retomada e a adaptação de práticas tradicionais de manejo da terra, como sistemas de pastoreio e técnicas de restauração do solo, têm se

mostrado eficazes no aumento da resiliência, especialmente em regiões áridas e semiáridas (Ren & Coffman, 2023).

5. RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: PERSPECTIVAS ATUAIS E FUTURAS

Estratégias de conservação e restauração estão evoluindo de intervenções passivas tradicionais, como áreas protegidas, para intervenções mais ativas, como a reintrodução de espécies selvagens e o fluxo gênico assistido (Gann et al., 2019; Suding et al., 2024). Essas estratégias integram princípios genéticos e evolutivos para aumentar a resiliência da biodiversidade diante de rápidas mudanças ambientais (Gaitán-Espitia et al., 2020). A identificação de características funcionais essenciais que influenciam os serviços ecossistêmicos também pode auxiliar no desenvolvimento de indicadores robustos para o monitoramento de mudanças na biodiversidade (Hevia et al., 2017).

Uma das experiências empíricas de reintrodução da vida selvagem realizadas em áreas protegidas foi o reconhecimento do papel dos grandes predadores e da sua influência sobre a restauração do ecossistema: pesquisas mostraram o impacto da extirpação de lobos no noroeste do Parque Nacional de Yellowstone, EUA (Beschta & Ripple, 2009), e a subsequente reintrodução desta espécie em 1995/1996. Predadores de topo, como lobos, podem limitar a abundância e distribuição de herbívoros diretamente através da predação ou indiretamente moldando uma "paisagem de medo", onde a presa pode evitar certos habitats e mudar seus comportamentos alimentares. Esta mudança no comportamento herbívoro afetou a dinâmica das comunidades de plantas ribeirinhas submetidas a um declínio de longo prazo no recrutamento de espécies lenhosas palatáveis e comprometimento de outros recursos. A recuperação da vegetação ribeirinha após o controle de herbívoros pelo predador poderia modificar as larguras já aumentadas de canais ativos através da erosão acelerada das margens, erosão de planícies de inundação e o aumento da área de aluvião não vegetado, iniciando efeitos de restauração do ecossistema que contribuiriam para alterar atributos biológicos e físicos de muitos córregos e rios, restaurando-os (Beschta & Ripple, 2012).

Isso significa que a restauração ecológica deve migrar para uma abordagem mais holística, considerando as complexas interdependências existentes em toda a paisagem (e não apenas em um ecossistema específico), abrangendo interações entre fauna e flora, diferentes níveis de estratificação de comunidades e componentes físicos e biológicos. Fu et al. (2023) descreveram os resultados da aplicação de uma estrutura coevolucionária envolvendo restauração ecológica em escala de paisagem, resultando em melhorias significativas nos padrões paisagísticos e nos processos ecológicos, além da melhoria dos serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico.

Embora já se saiba que os mecanismos causais que influenciam o equilíbrio do ecossistema e a estabilidade dinâmica são promovidos por múltiplos processos, como cascatas tróficas, liberação de competidores dominantes, papel como engenheiros de ecossistemas ou o status de espécies-chave (Natsukawa & Sergio, 2022), um desafio contemporâneo é introduzir esses mecanismos causais e a cadeia de processos na estrutura de restauração do ecossistema.

As estratégias de restauração atuais frequentemente envolvem corretivos do solo, como a adição de celulose, para promover o crescimento de táxons microbianos específicos. Por exemplo, a adição de celulose demonstrou selecionar táxons bacterianos de crescimento lento, como *Verrucomicrobia* e fungos, aumentando a capacidade de armazenamento de carbono em pradarias restauradas (Barber et al., 2017; Docherty & Gutknecht, 2019). Além disso, a inoculação de solos com comunidades microbianas de pradarias não perturbadas pode influenciar a diversidade e a função microbianas, embora sua eficácia possa variar em comparação com outros métodos, como a adição de celulose (Barber et al., 2017; Docherty & Gutknecht, 2019). Práticas como queimadas e roçadas têm impactos distintos nas comunidades microbianas do solo. A queimada tende a aumentar a diversidade bacteriana, enquanto reduz a diversidade fúngica, e enriquece o solo com nutrientes arbusculares, fungos micorrízicos, benéficos para o crescimento das plantas (Zhu et al., 2020). Essas práticas podem ser adaptadas para aprimorar funções microbianas específicas e melhorar os resultados da restauração.

Estratégias futuras devem se concentrar em aumentar a diversidade funcional das comunidades microbianas do solo para melhorar a resiliência dos ecossistemas, o que significa manter a atenção voltada para a necessidade de sincronização entre a biodiversidade acima e abaixo do solo (Aerts & Honnay, 2011). Isso inclui a promoção de táxons microbianos que contribuem para o ciclo do carbono e a retenção de nutrientes, cruciais para a sustentação dos ecossistemas de pradaria sob estressores ambientais como a seca (Upton et al., 2018; Mason et al., 2023).

As interdependências solo-água também devem ser consideradas para incluir interações de biodiversidade acima e abaixo do solo em processos de restauração. Ao vincular a umidade do solo e a profundidade do lençol freático com as emissões de CO₂, o sensoriamento remoto pode informar estratégias para mitigar as emissões da drenagem de turfeiras e incêndios, particularmente em regiões tropicais, e restaurar 15% das terras convertidas em áreas prioritárias poderia evitar 60% das extinções esperadas e sequestrar 299 gigatoneladas de CO₂ (Swails et al., 2018; Strassburg et al., 2020). O SAR, particularmente o Sentinel-1, tem sido usado efetivamente para estimar a profundidade do lençol freático (WTD) em turfeiras, mostrando uma forte correlação com os valores de WTD medidos. Este método ajuda a identificar áreas com menor resiliência à seca, frequentemente associada à alta drenagem e vulnerabilidade às mudanças climáticas (Lees et al., 2020; Toca et al., 2022). Experimentos de laboratório com SAR de banda C demonstraram a sensibilidade da retrodispersão do radar às mudanças nos níveis do lençol freático e na umidade do solo, apoiando o uso de medições de fase diferencial para monitorar as condições hidrológicas das turfeiras (Lees et al., 2020). Técnicas como a Óptica O Modelo TRapezoid (OPTRAM) utilizam a reflectância infravermelha de ondas curtas (SWIR) para monitorar a umidade do solo e a dinâmica da DTA. Este método é sensível à cobertura vegetal e pode ser aplicado globalmente para rastrear a hidrologia de turfeiras (Burdun et al., 2020). Quando a escala do processo de restauração muda de local para regional, novos desafios surgem.

Projetos de restauração em larga escala enfrentam desafios como altos custos e demandas de recursos. Estratégias que equilibram resiliência ecológica com viabilidade econômica, como selecionar áreas com resiliência

intermediária e custos mais baixos, podem melhorar a viabilidade (Stefanes et al., 2016). Os esforços de restauração também devem se adaptar às mudanças climáticas em curso, incorporando conhecimento ecológico avançado e técnicas de regeneração. Isso inclui o gerenciamento de distúrbios bióticos e abióticos para garantir que os ecossistemas restaurados continuem a servir como recursos comunitários (Löff et al. 2019). Muitos projetos de restauração florestal agora levam em conta as mudanças climáticas, ajustando a seleção de espécies e a localização para mitigar riscos e se alinhar às estruturas políticas (Pita et al. 2024). Além disso, os esforços de restauração podem reduzir a gravidade dos incêndios florestais e ajudar a preservar a qualidade da água e a composição florestal em regiões semiáridas, particularmente em altitudes elevadas (O'Donnell et al. 2018).

A seleção de espécies tornou-se, portanto, um dos elementos-chave de uma restauração resiliente ao clima. Para recifes de corais, utilize ferramentas como o Sistema Automatizado de Estresse por Branqueamento de Corais (CBASS) para avaliar os limiares térmicos e identificar genótipos de corais termotolerantes. Isso auxilia na seleção de espécies de corais resilientes para esforços de restauração (Voolstra et al. 2020; Evensen et al. 2023). Na restauração de corais, recomenda-se a inclusão de estratégias como seleção de genótipos e simbioses tolerantes ao calor que mantenham a resiliência em diferentes ambientes. Essa abordagem pode ser aplicada à construção de viveiros que resistam a múltiplos eventos de branqueamento (Morikawa e Palumbi, 2019). Na restauração de ervas marinhas, considere a profundidade como um fator crítico para a resiliência ao estresse térmico. O sucesso da restauração é maior em faixas de profundidade intermediárias, que são mais resilientes ao estresse térmico (Aoki et al., 2020).

Restaurar habitats marinhos a estados históricos ou adaptá-los a condições futuras por meio de tecnologias genéticas tem se mostrado promissor no aumento da resiliência às mudanças ambientais e climáticas (Coleman et al., 2020). Há evidências de que, se as principais pressões forem controladas, populações, habitats e ecossistemas marinhos podem apresentar uma recuperação substancial até 2050, com ganhos expressivos em abundância, estrutura e funções ecológicas (Duarte et al., 2020). Da mesma forma, estratégias de restauração florestal que incorporam Refúgios para

Mudanças Climáticas (CCR) aumentam a biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas sem reduzir significativamente a capacidade de amortecimento do dossel (Pradhan et al., 2023). A proteção e restauração de áreas costeiras e marinhas, alinhada às metas do ODS 14 (metas 14.2 e 14.5), também representa um caminho estratégico para fortalecer os serviços ecossistêmicos essenciais, como a proteção contra tempestades, a melhoria da qualidade da água e o aumento da produtividade pesqueira (Neumann et al., 2017; Aldereguía Prado, 2020; Duarte et al., 2020; dos Santos Fogaça et al., 2020; Pandey, 2024;). Essas abordagens contribuem para a mitigação de riscos relacionados ao clima e para o suporte aos serviços ecossistêmicos. Além disso, experiências anteriores de conservação marinha demonstraram que intervenções bem planejadas podem promover recuperações significativas mesmo em regiões altamente impactadas, reforçando a necessidade de integrar o conhecimento científico com ações de governança e participação comunitária (Duarte et al., 2020, Mishra, 2022).

A restauração muda o foco da escala local para a regional, e agora precisa mudar o foco de um cenário estável para um cenário de incerteza climática, abrangendo questões de resiliência. Os esforços de restauração têm evoluído para incluir explicitamente a resiliência como objetivo central de planejamento, enfatizando a capacidade dos ecossistemas de resistir, recuperar-se e se adaptar a distúrbios, como as mudanças climáticas (Timpane-Padgham et al., 2017; Shaver et al., 2022; Ren & Coffman, 2023; Newton & Cantarello, 2015). Assim, lentamente, estudos têm proposto estruturas para orientar a restauração eficaz, incorporando resiliência. Entre os atributos-chave de resiliência identificados destacam-se a diversidade, a conectividade e a capacidade adaptativa, que podem ser aplicados em diferentes níveis organizacionais, como indivíduo, população, comunidade e ecossistema (Timpane-Padgham et al., 2017; Ren & Coffman, 2023). As abordagens metodológicas mais recentes recomendam que o planejamento e o desenho de projetos de restauração integrem princípios de resiliência, incluindo a seleção de espécies e locais com maior potencial para suportar e se recuperar dos impactos climáticos, sempre considerando o contexto ecológico, a escala focal e o envolvimento dos stakeholders (Timpane-Padgham et al., 2017; Shaver et al., 2022; Ren & Coffman, 2023). Reforçar essa tendência e

aprimorar as estruturas metodológicas representa outro desafio contemporâneo e pode ser o mais importante para esse campo. Além disso, a ampliação de indicadores de monitoramento e a escalabilidade espacial e temporal das ações são apontadas como estratégias fundamentais para melhorar os resultados da restauração em cenários de incerteza climática (Ren & Coffman, 2023). Vale destacar também que a restauração pode fortalecer a resiliência psicossocial e comunitária, promovendo agência, otimismo e redes sociais mais sólidas, aspectos essenciais para a sustentabilidade e adaptação de longo prazo (Ren & Coffman, 2023; Smith et al., 2025).

Essas estruturas frequentemente enfatizam a colaboração interdisciplinar e se concentram no estabelecimento de metas, na obtenção de material biológico e na otimização do estabelecimento e crescimento do ecossistema (Miller et al. 2017; Ren e Coffman, 2023). Pesquisas identificam vários atributos ecológicos que conferem resiliência, como diversidade e conectividade, que são cruciais para uma restauração bem-sucedida em condições climáticas variáveis. Esses atributos são aplicáveis em diferentes escalas, desde espécies individuais até ecossistemas inteiros (Mijatović et al., 2013; Timpane-Padgham et al., 2017). Empregar estratégias de gestão adaptativa que alavancam dados em tempo real e análises preditivas pode refinar ainda mais as práticas de restauração, garantindo seu sucesso em um mundo em rápida transformação (Dharmawan et al., 2024). Por fim, a seleção de locais para restauração possui uma ampla gama de critérios, que variam desde a conveniência e o consentimento dos proprietários para restaurar porções de terra, a execução legal para restaurar margens de rios, até a contenção de deslizamentos (Lee et al., 2002; Nikolakaki, 2004). Critérios baseados em análise espacial são mais raros, geralmente focados na otimização do processo de restauração, considerando critérios de nucleação e vizinhança.

Para diagnosticar onde a restauração deve ser priorizada, com preferência para regiões que apresentem topoclimas com baixa resiliência ao estresse térmico futuro, é essencial identificar as áreas mais vulneráveis ao estresse térmico e com baixa resiliência ecológica. Utilize variáveis climáticas e de disponibilidade de água no solo para prever a resiliência e a resistência ao estresse térmico. Os principais indicadores incluem temperatura média,

temperatura do mês mais frio, déficit hídrico climático e padrões de precipitação. Áreas com condições quentes e secas e altos déficits hídricos climáticos normalmente apresentam baixa resiliência e resistência, tornando-as áreas prioritárias para restauração (Chambers et al. 2023). Assim, ao mesmo tempo em que é importante identificar áreas prioritárias para restauração, também é importante identificar aquelas áreas com alto impacto de mudanças climáticas ou áreas de risco, onde o sucesso do programa de restauração exige esforços adicionais. Desenvolver mapas de estresse térmico usando modelos como URbCLim, UTCI e WBGT, que incorporam dados de temperatura do ar, umidade e velocidade do vento, pode ser uma estrutura metodológica promissora para mapear áreas de risco. Isso ajuda a identificar áreas urbanas com alta vulnerabilidade ao estresse térmico, orientando o planejamento urbano e soluções baseadas na natureza para adaptação (García-Blanco et al. 2023).

Ardestani et al. (2021) conduziram um estudo nas regiões áridas do sudeste do Irã, com foco na restauração do arbusto *Haloxylon persicum*. O objetivo era identificar habitats ótimos para a restauração de *H. persicum* sob condições climáticas atuais e futuras usando modelagem de nicho ecológico. Os métodos usados para modelagem de nicho ecológico de conjunto foram aplicados, utilizando oito algoritmos diferentes para prever habitats adequados para *H. persicum* sob vários cenários climáticos (RCP4.5 e RCP8.5) para os anos de 2050 e 2070. O modelo previu que habitats adequados para *H. persicum* diminuiriam significativamente sob cenários climáticos futuros, com condições ótimas sendo ao norte de 27°N de latitude. As lições aprendidas com o estudo enfatizaram a necessidade de identificação precisa de habitat para garantir a restauração bem-sucedida e destacaram os desafios potenciais impostos pelas mudanças climáticas na disponibilidade de habitat.

Neste contexto de mudanças climáticas, a restauração ecológica evoluiu. Modelos e ideias estão sendo desenvolvidos para garantir que os esforços de restauração sejam sustentáveis e adaptáveis a ambientes em mudança. A biodiversidade é crucial para a resiliência a longo prazo das funções e serviços ecossistêmicos. Isso inclui a manutenção das funções ecossistêmicas sob mudanças ambientais futuras previstas, enfatizando a importância da biodiversidade em várias escalas ecológicas (Oliver et al.,

2015). Programas de restauração florestal são aconselhados a integrar o conhecimento ecológico, avançar técnicas de regeneração e se adaptar a paisagens futuras. Isso inclui a compreensão das interações entre plantas e o gerenciamento de perturbações para criar ecossistemas resilientes (Löff et al. 2019). Uma estrutura abrangente descreve a pesquisa necessária para restaurar ecossistemas sustentáveis, resilientes e biodiversos. Ela enfatiza a colaboração interdisciplinar e aborda os desafios práticos da restauração (Miller et al., 2017).

6. CONCLUSÃO

Um obstáculo importante à viabilidade a longo prazo de projetos de restauração ecológica são as mudanças climáticas. Por isso, avaliar o perigo das mudanças climáticas é crucial para o planejamento e a execução da restauração ecológica. Com base em nossa revisão da literatura, podemos afirmar que os efeitos negativos das mudanças climáticas não podem ser adequadamente mitigados ou reduzidos a menos que as respostas das espécies sejam explicitamente levadas em consideração nas estratégias e decisões políticas. Isso é especialmente verdadeiro quando se analisa a redistribuição de espécies no contexto dos sistemas terrestres e do desenvolvimento sustentável.

Propor estruturas que orientem a restauração eficaz incorporando resiliência corresponde a um dos desafios contemporâneos no campo da ecologia da restauração. A necessidade de desenvolver estruturas metodológicas capazes de identificar áreas-alvo para restauração ecológica, como estudos de localização para garantir uma restauração bem-sucedida, também destaca os potenciais desafios impostos pelas mudanças climáticas à disponibilidade de habitats.

Quando implementada de forma eficaz, a restauração ecológica contribui significativamente para a conservação da biodiversidade e a mitigação das mudanças climáticas. Embora se reconheça que a Década das Nações Unidas para a Restauração de Ecossistemas (2021-2030) suscitou preocupações sobre o assunto, a restauração de ecossistemas ainda tem recebido baixa prioridade. Especialmente no que diz respeito à sua relação

com as mudanças climáticas, e aconselhamos a realização de uma revisão da literatura e entrevistas mais aprofundadas para descobrir evidências adicionais de que as mudanças climáticas estão sendo consideradas no planejamento e na prática.

Considerar a capacidade das espécies de tolerar mudanças climáticas e investir na promoção de um desenvolvimento integrado das interfaces acima e abaixo do solo são aspectos importantes a serem considerados na restauração de ecossistemas. Estratégias de restauração resilientes, que priorizam atributos como diversidade e conectividade, aumentam a capacidade dos ecossistemas de resistir a condições climáticas futuras e garantem sua funcionalidade a longo prazo.

Além disso, ao investigar as interações entre restauração ecológica e resiliência às mudanças climáticas, nossa análise enfatiza a necessidade de uma abordagem multidisciplinar que integre ciência, política e práticas comunitárias.

Além disso, o foco nas consequências das mudanças climáticas sobre a biodiversidade e os desafios associados à restauração de ecossistemas degradados expõe lacunas importantes na pesquisa atual, destacando a urgência de práticas de restauração mais adaptativas e resilientes. Primeiro, é essencial investigar métodos quantitativos que complementem a atual revisão qualitativa, permitindo uma avaliação mais robusta dos resultados dos projetos de restauração. Segundo, também é importante explorar como o conhecimento local e as práticas tradicionais podem ser integrados às estratégias de restauração, priorizando suas áreas protegidas sagradas e seus arredores e levando em consideração seu conhecimento sobre os ritmos da natureza, promovendo uma abordagem mais inclusiva e holística. Terceiro, embora indicadores específicos de resiliência já existentes possam ajudar a padronizar métodos de avaliação, facilitando comparações entre diferentes práticas de restauração em diferentes contextos ecológicos, esses indicadores de resiliência devem ser inseridos em uma estrutura mais ampla, abrangendo a seleção de espécies, a identificação de locais prioritários a serem alvos de práticas de restauração e as condições futuras a serem amenizadas pela restauração, como parte de uma política de gestão territorial. Assim, nossa principal preocupação é com o desenvolvimento de uma política baseada na

ciência, com programas de restauração considerando a combinação da seleção de áreas prioritárias para adequar espécies resilientes, buscando as condições futuras que queremos obter como resultado da prática de restauração, não apenas uma mera quantificação do número de indivíduos vegetais sobreviventes ou do sucesso na formação de comunidades vegetais.

Em suma, nosso estudo foi realizado online, utilizando fontes em inglês e português (em alguns casos). Para acelerar a restauração resiliente ao clima, é necessário questionar ideias ultrapassadas e substituí-las por métodos humanos, compassivos e com base científica, que possam se adaptar às mudanças climáticas no futuro. Ressaltamos que, para criar políticas e planos econômicos sustentáveis em caso de mudanças globais, as iniciativas globais de restauração e conservação ecológica devem levar esse ponto de vista em consideração.

Nossa análise menciona projeções climáticas (por exemplo, cenários do RCP), mas observamos que falta uma discussão aprofundada sobre como as estratégias de restauração devem ser projetadas para lidar com a incerteza em modelos climáticos futuros. Outro ponto importante a ser enfatizado é que os planos de restauração devem levar em conta a variabilidade climática cada vez mais extrema, como maior frequência de secas, incêndios florestais descontrolados e temperaturas extremas.

Este estudo aborda a resiliência como uma estratégia adaptativa de longo prazo. No entanto, não diferencia explicitamente os resultados de restauração de curto prazo da estabilidade ecológica de longo prazo sob estressores climáticos projetados. Isso remete à necessidade de aprofundamento dos estudos com foco na resiliência às mudanças climáticas promovidas pela restauração, que traz como desdobramentos a necessidade de monitoramento contínuo e ajustes nas práticas de restauração ao longo do tempo para garantir uma gestão paisagística eficaz, de acordo com o propósito adaptativo ao contexto das mudanças climáticas.

Por fim, espera-se que os profissionais de restauração e os formuladores de políticas possam implementar estratégias de gestão adaptativa e envolvimento da comunidade para garantir que as iniciativas de restauração sejam sustentáveis e eficazes em um contexto de mudança climática.

Limitações do artigo

Aqui estão algumas limitações que podem ser observadas no artigo:

1. A dependência majoritária de fontes em língua inglesa e a falta de diversidade geográfica, especialmente de línguas do Sul Global.
2. A natureza qualitativa e subjetiva da análise e a ausência de dados quantitativos de uma revisão de meta-análise.
3. A possibilidade de viés na seleção dos artigos revisados, uma vez que se baseou em uma abordagem subjetiva da literatura.

7. REFERÊNCIAS

- Aerts, R., & Honnay, O. (2011). Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC Ecology*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-29>
- Aldereguía Prado, C. (2020). The leadership of the EU in shaping the international ocean governance: Fighting against IUU fishing. In I. P. Karolewski & M. Sus (Eds.), *The EU in the 21st century: Challenges and opportunities for the European integration process* (pp. 295–317). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38399-2_16
- Alexandra, J. (2022). Designer ecosystems for the Anthropocene—Deliberately creating novel ecosystems in cultural landscapes. *Sustainability*, 14(7), 3952. <https://doi.org/10.3390/su14073952>
- Aoki, L. R., McGlathery, K. J., Wiberg, P. L., & Al-Haj, A. (2020). Depth affects seagrass restoration success and resilience to marine heat wave disturbance. *Estuaries and Coasts*, 43, 316–328. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00685-0>
- Ardestani, E. G., Rigi, H., & Honarbakhsh, A. (2021). Predicting optimal habitats of *Haloxylon persicum* for ecosystem restoration using ensemble ecological niche modeling under climate change in Southeast Iran. *Restoration Ecology*, 29(6), e13492. <https://doi.org/10.1111/rec.13492>
- Aronson, J., Clewell, A., & Moreno-Mateos, D. (2016). Ecological restoration

and ecological engineering: Complementary or indivisible? *Ecological Engineering*, 91, 392–395. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.02.043>

Atkinson, J., Brudvig, L. A., Mallen-Cooper, M., Nakagawa, S., Moles, A. T., & Bonser, S. P. (2022). Terrestrial ecosystem restoration increases biodiversity and reduces its variability, but not to reference levels: A global meta-analysis. *Ecology Letters*, 25, 1725–1737. <https://doi.org/10.1111/ele.14025>

Barber, N. A., Chantos-Davidson, K. M., Peralta, R. A., Sherwood, J. P., & Swingle, W. D. (2017). Soil microbial community composition in tallgrass prairie restorations converge with remnants across a 27-year chronosequence. *Environmental Microbiology*, 19, 3118–3131. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13785>

Barber, N. A., Klimek, D. M., Bell, J. K., & Swingle, W. D. (2023). Restoration age and re-introduced bison may shape soil bacterial communities in restored tallgrass prairies. *FEMS Microbiology Ecology*, 99(3), fiad007. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiad007>

Belgacem, A. O., Salem, F. B., Gamoun, M., Chibani, R., & Louhaichi, M. (2019). Revival of traditional best practices for rangeland restoration under climate change in the dry areas. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 11, 643–659. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2018-0019>

Beschta, R. L., & Ripple, W. J. (2009). Large predators and trophic cascades in terrestrial ecosystems of the western United States. *Biological Conservation*, 142(11), 2401–2414.

Beschta, R. L., & Ripple, W. J. (2012). The role of large predators in maintaining riparian plant communities and river morphology. *Geomorphology*, 157–158, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.042>

Bullock, J. M., Aronson, J., Newton, A. C., Pywell, R. F., & Rey-Benayas, J. M. (2011). Restoration of ecosystem services and biodiversity: Conflicts and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(10), 541–549.

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.06.011>

- Burdun, I., Bechtold, M., Sagris, V., Komisarenko, V., De Lannoy, G., & Mander, Ü. (2020). A comparison of three trapezoid models using optical and thermal satellite imagery for water table depth monitoring in Estonian bogs. *Remote Sensing*, 12, 1980. <https://doi.org/10.3390/rs12121980>
- Carlos, M. D., Agusti, S., Barbier, E., Britten, G. L., Castilla, J. C., Gattuso, J.-P., Fulweiler, R. W., Hughes, T. P., Knowlton, N., Lovelock, C. E., Lotze, H. K., Predragovic, M., Poloczanska, E., Roberts, C., & Worm, B. (2020). Rebuilding marine life. *Nature*, 580(7801), 39–51. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7>
- Carvalho, C. S., Forester, B. R., Mitre, S. K., Alves, R., Imperatriz-Fonseca, V. L., Ramos, S. J., Resende-Moreira, L. C., Siqueira, J. O., Trevelin, L. C., Caldeira, C. F., Gastauer, M., & Jaffé, R. (2020). Combining genotype, phenotype, and environmental data to delineate site-adjusted provenance strategies for ecological restoration. *Molecular Ecology Resources*, 21, 44–58. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13191>
- Chambers, J. C., Brown, J. L., Bradford, J. B., Board, D. I., Campbell, S. B., Clause, K. J., Hanberry, B., Schlaepfer, D. R., & Urza, A. K. (2023). New indicators of ecological resilience and invasion resistance to support prioritization and management in the sagebrush biome, United States. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 1009268. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1009268>
- Clerici, N., Cote-Navarro, F., Escobedo, F. J., Rubiano, K., & Villegas, J. C. (2019). Spatio-temporal and cumulative effects of land use-land cover and climate change on two ecosystem services in the Colombian Andes. *Science of the Total Environment*, 685, 1181–1192. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.275>
- Coleman, M. A., Wood, G., Filbee-Dexter, K., Minne, A., Goold, H. D., Vergés, A., Marzinelli, E., Steinberg, P. D., & Wernberg, T. (2020). Restore or redefine: Future trajectories for restoration. *Frontiers in Marine Science*, 7, 237. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00237>

- CBD – Convention on Biological Diversity. (2012). UNEP/CBD/COP Decision XI/16. Ecosystem restoration. Convention on Biological Diversity, Hyderabad, India.
<https://www.cbd.int/doc/decisions/cop11/cop11dec16en.pdf>
- CBD – Convention on Biological Diversity. (2016). Ecosystem restoration: Short term action plan. <https://www.cbd.int/decisions/cop/13/5>
- CBD – Convention on Biological Diversity. (2022). United Nations Biodiversity Conference COP15 / CP-MOP10 / NP-MOP4. First draft of the Post-2020 Global Biodiversity Framework. <https://www.cbd.int/conferences/2021-2022/cop-15/documents>
- Cord, A. F., Bartkowski, B., Beckmann, M., Dittrich, A., Hermans-Neumann, K., Kaim, A., Lienhoop, N., Locher-Krause, K., Priess, J., Schröter-Schlaack, C., Schwarz, N., Seppelt, R., Strauch, M., Václavík, T., & Volk, M. (2017). Towards systematic analyses of ecosystem service trade-offs and synergies: Main concepts, methods and the road ahead. *Ecosystem Services*, 28, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.012>
- Danley, B., & Widmark, C. (2016). Evaluating conceptual definitions of ecosystem services and their implications. *Ecological Economics*, 126, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.04.003>
- Davis, M. A., & Slobodkin, L. B. (2004). The science and values of restoration ecology. *Restoration Ecology*, 12(1), 1–3. <https://www.academia.edu/download/81531185/t1940.pdf>
- Dharmawan, I. W. S., Lisnawati, Y., Siahaan, H., Premono, B. T., Iqbal, M., Junaedi, A., Sakuntaladewi, N., Bastoni, F., Ridwan, R., Ramawati, N., Nugroho, A. W., Undaharta, N. K. E., Achmadi, A. S., Setyawati, T., Siregar, C. A., Pratiwi, S., Suhartana, S., Soenarno, D., & Sukmana, A. (2024). Use of an adaptive-vegetation model to restore degraded tropical peat swamp forest to support climate resilience. *Land*, 13(9), 1377. <https://doi.org/10.3390/land13091377>
- Docherty, K. M., & Gutknecht, J. L. M. (2019). Soil microbial restoration

- strategies for promoting climate-ready prairie ecosystems. *Ecological Applications*, 29(3), e01858. <https://doi.org/10.1002/eap.1858>
- dos Santos Fogaça, F. H., Furtado, A. A. L., da Silva, C. A., Tavares-Dias, M., Kemenes, A., & Routledge, E. A. B. (2020). Life below water: Conservation and responsible use of seas, oceans and coastal environments. Brazilian Agricultural Research Corporation, Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply. <https://www.academia.edu/download/110034512/363569152.pdf>
- Druschke, C. G., & Hychka, K. C. (2015). Manager perspectives on communication and public engagement in ecological restoration project success. *Ecology and Society*, 20(1), 58. <https://doi.org/10.5751/ES-07451-200158>
- Engel, V. L., & Parrota, J. A. (2003). O desenvolvimento do conceito de restauração ecológica. In *Restauração ecológica de ecossistemas naturais* (pp. 1–26). Botucatu.
- Evensen, N. R., Parker, K. E., Oliver, T. A., Palumbi, S. R., Logan, C. A., Ryan, J. S., Klepac, C. N., Perna, G., Warner, M. E., Voolstra, C. R., & Barshis, D. J. (2023). The Coral Bleaching Automated Stress System (CBASS): A low-cost, portable system for standardized empirical assessments of coral thermal limits. *Limnology and Oceanography: Methods*, 21(7), 421–434. <https://doi.org/10.1002/lom3.10555>
- Ferrier, S. (2020). Prioritizing where to restore Earth's ecosystems. *Nature*, 586, 680–681. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02750-2>
- Fisher, B., Bateman, I., & Turner, R. K. (2013). Valuing ecosystem services: Benefits, values, space and time. In *Values, payments and institutions for ecosystem management* (pp. 58–69). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781781953693.00009>
- Fu, B., Liu, Y., & Meadows, M. E. (2023). Ecological restoration for sustainable development in China. *National Science Review*, 10(7), nwad033. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwad033>

- Gaitán-Espitia, J., & Hobday, A. (2020). Evolutionary principles and genetic considerations for guiding conservation interventions under climate change. *Global Change Biology*, 27, 475–488. <https://doi.org/10.1111/gcb.15359>
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration (Second Edition). *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- García-Blanco, G., Navarro, D., & Feliu, E. (2023). Adopting resilience thinking through nature-based solutions within urban planning: A case study in the city of València. *Buildings*, 13(5), 1317. <https://doi.org/10.3390/buildings13051317>
- Gibbard, P., Walker, M., Bauer, A., Edgeworth, M., Edwards, L., Ellis, E., Finney, S., Gill, J. L., Maslin, M., Merritts, D., & Ruddiman, W. (2022). The Anthropocene as an event, not an epoch. *Journal of Quaternary Science*, 37(3), 395–399. <https://doi.org/10.1002/jqs.3416>
- Gladstone-Gallagher, R. V., Pilditch, C. A., Stephenson, F., & Thrush, S. F. (2019). Linking traits across ecological scales determines functional resilience. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(12), 1080–1091. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.07.010>
- Green, B. N., Johnson, C. D., & Adams, A. (2006). Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: Secrets of the trade. *Journal of Chiropractic Medicine*, 5(3), 101–117. [https://doi.org/10.1016/S0899-3467\(07\)60142-6](https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60142-6)
- Grimm, K. E., Archibald, J. L., Axelsson, E. P., & Grady, K. C. (2025). Moving social-ecological restoration forward: How mangrove project managers' perceptions of social monitoring and community engagement serve as a model for broader restoration efforts. *Restoration Ecology*, 33(1), e14273. <https://doi.org/10.1111/rec.14273>

- Gross, C. L., Fatemi, M., & Simpson, I. H. (2017). Seed provenance for changing climates: Early growth traits of nonlocal seed are better adapted to future climatic scenarios, but not to current field conditions. *Restoration Ecology*, 25(4), 577–586. <https://doi.org/10.1111/rec.12474>
- He, S., Qin, T., Liu, F., Liu, S., Dong, B., Wang, J., & Nie, H. (2019). Effects of slope ecological restoration on runoff and its response to climate change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 4017. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204017>
- Healey, M. (2020). How to heat a planet? Impact of anthropogenic landscapes on Earth's albedo and temperature. *International Journal of Geosciences*, 11(6), 420–457. <https://doi.org/10.4236/ijg.2020.116022>
- Hevia, V., Martín-López, B., Palomo, S., García-Llorente, M., de Bello, F., & González, J. A. (2017). Trait-based approaches to analyze links between the drivers of change and ecosystem services: Synthesizing existing evidence and future challenges. *Ecology and Evolution*, 7, 831–844. <https://doi.org/10.1002/ece3.2692>
- Higgs, E. (1994). Expanding the scope of restoration ecology. *Restoration Ecology*, 2(3), 137–146. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1994.tb00060.x>
- Higgs, E. (1997). What is good ecological restoration? ¿Qué es una buena restauración ecológica? *Conservation Biology*, 11(2), 338–348. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.95311.x>
- Higgs, E., Harris, J., Murphy, S., Bowers, K., Hobbs, R., Jenkins, W., Kidwell, J., Lopoukhine, N., Sollereder, B., Suding, K., Thompson, A., & Whisenant, S. (2018). On principles and standards in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 26(3), 399–403. <https://doi.org/10.1111/rec.12691>
- Hobbs, R. J., & Cramer, V. A. (2008). Restoration ecology: Interventionist approaches for restoring and maintaining ecosystem function in the face of rapid environmental change. *Annual Review of Environment and Resources*, 33, 39–61. <https://doi.org/10.1146/annurev.envIRON.33.020107.113631>
- Huang, C., Zhou, Z., Peng, C., Teng, M., & Wang, P. (2019). How is biodiversity

- changing in response to ecological restoration in terrestrial ecosystems? A meta-analysis in China. *Science of the Total Environment*, 650(Pt 1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.320>
- Huang, L., Shao, Q., Liu, J., & Lu, Q. (2018). Improving ecological conservation and restoration through payment for ecosystem services in northeastern Tibetan Plateau, China. *Ecosystem Services*, 31(A), 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.04.005>
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H. Lee & J. Romero, Eds.). IPCC. <https://doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647>
- Issoufou, A. A., Soumana, I., Maman, G., Konate, S., & Mahamane, A. (2020). Dynamic relationship of traditional soil restoration practices and climate change adaptation in semi-arid Niger. *Heliyon*, 6, e03265. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03265>
- Jaureguiberry, P., Titeux, N., Wiemers, M., Bowler, D. E., Coscieme, L., Golden, A. S., Guerra, C. A., Jacob, U., Takahashi, Y., Settele, J., Díaz, S., Molnár, Z., & Purvis, A. (2022). The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity loss. *Science Advances*, 8(45), eabm9982. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9982>
- Johnson, C. N., Balmford, A., Brook, B. W., Buettel, J. C., Galetti, M., Guangchun, L., & Wilmshurst, J. M. (2017). Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science*, 356(6335), 270–275. <https://doi.org/10.1126/science.aam931>
- Juntunen, M., & Lehenkari, M. (2021). A narrative literature review process for an academic business research thesis. *Studies in Higher Education*, 46(2), 330–342. <https://doi.org/10.1080/03075079.2019.1630813>
- Kandal, H. A., Swart, J. A. A., Yacoub, H. A., & Gerkema, M. P. (2021). Engaging local communities in restoration projects: Reconsidering the role

- of traditional knowledge in Wadi Allaqi, Egypt. *Restoration Ecology*, 30(6), e13598. <https://doi.org/10.1111/rec.13598>
- Kremen, C. (2005). Managing ecosystem services: What do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8(5), 468–479. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x>
- Laurance, W. F. (2019). The Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R953–R954. <https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-98221930935-2.pdf>
- Lees, K. J., Artz, R. R. E., Chandler, D., Aspinall, T., Boulton, C. A., Buxton, J., Cowie, N. R., & Lenton, T. M. (2020). Using remote sensing to assess peatland resilience by estimating soil surface moisture and drought recovery. *Science of the Total Environment*, 761, 143312. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143312>
- Lerambert, A. (2022). United Nations-Convention on Biological Diversity and COP15. *WellBeing News*, 4(7), 2. <https://www.wellbeingintludiesrepository.org/wbn/vol4/iss7/2>
- Lindenmayer, D. (2020). Improving restoration programs through greater connection with ecological theory and better monitoring. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 50. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00050>
- Littleton, E. W., Dooley, K., Webb, G., Harper, A. B., Powell, T., Nicholls, Z., Meinshausen, M., & Lenton, T. M. (2021). Dynamic modelling shows substantial contribution of ecosystem restoration to climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 16(12), 124061. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3c6c>
- Liu, X., Zhao, W., Yao, Y., & Pereira, P. (2024). The rising human footprint in the Tibetan Plateau threatens the effectiveness of ecological restoration on vegetation growth. *Journal of Environmental Management*, 351, 119963. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119963>
- Löf, M., Madsen, P., Metslaid, M., Witzell, J., & Jacobs, D. F. (2019). Restoring forests: Regeneration and ecosystem function for the future. *New Forests*, 50, 139–151. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09713-0>

- Ma, S., Wang, L.-J., Jiang, J., Chu, L., & Zhang, J.-C. C. (2021). Threshold effect of ecosystem services in response to climate change and vegetation coverage change in the Qinghai-Tibet Plateau ecological shelter. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128592. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116174>
- Martin, D. M. (2017). Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century. *Restoration Ecology*, 25, 668–673. <https://doi.org/10.1111/rec.12554>
- Martin, D. M., & Lyons, J. E. (2018). Monitoring the social benefits of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 26(6), 1045–1050. <https://doi.org/10.1111/rec.12888>
- Mason, C. N., Shahar, S., Beals, K. K., Kelley, S. T., Lipson, D. A., Swingley, W. D., & Barber, N. A. (2023). Taxonomic and functional restoration of tallgrass prairie soil microbial communities in comparison to remnant and agricultural soils. *FEMS Microbiology Ecology*, 99(11), fiad120. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiad120>
- Melo, M. M. de, & Saito, C. H. (2013). The practice of burning savannas for hunting by the Xavante Indians based on the stars and constellations. *Society & Natural Resources*, 26(4), 478–487. <https://doi.org/10.1080/08941920.2012.713087>
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., & Ceccon, E. (2021). Challenges during the execution, results, and monitoring phases of ecological restoration: Learning from a country-wide assessment. *PLoS ONE*, 16(4), e0249573. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249573>
- Mijatović, D., Van Oudenhoven, F., Eyzaguirre, P., & Hodgkin, T. (2013). The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: Towards an analytical framework. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11, 107–195. <https://doi.org/10.1080/14735903.2012.691221>
- Miller, B. P., Sinclair, E. A., Menz, M. H. M., Elliott, C. P., Bunn, E., Commander, L. E., Dalziell, E., David, E., Davis, B., Erickson, T. E., Golos,

- P. J., Krauss, S. L., Lewandrowski, W., Mayence, C. E., Merino-Martín, L., Merritt, D. J., Nevill, P. G., Phillips, R. D., Ritchie, A. L., ... Stevens, J. C. (2017). A framework for the practical science necessary to restore sustainable, resilient, and biodiverse ecosystems. *Restoration Ecology*, 25(5), 605–617. <https://doi.org/10.1111/rec.12475>
- Mishra, K. (2022, October). Viability of community participation in coastal conservation: A critical analysis. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1095, No. 1, p. 012009). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1095/1/012009>
- Moreno-Mateos, D., Alberdi, A., Morriën, E., van der Putten, W. H., Rodríguez-Uña, A., & Montoya, D. (2020). The long-term restoration of ecosystem complexity. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 676–685. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1154-1>
- Mori, A. (2016). Resilience in the studies of biodiversity-ecosystem functioning. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(2), 87–89. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.12.010>
- Morikawa, M. K., & Palumbi, S. R. (2019). Using naturally occurring climate resilient corals to construct bleaching-resistant nurseries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 10586–10591. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721415116>
- Natsukawa, H., & Sergio, F. (2022). Top predators as biodiversity indicators: A meta-analysis. *Ecology Letters*, 25, 2062–2075. <https://doi.org/10.1111/ele.14077>
- Neumann, B., Kenchington, R., & Ott, K. (2017). Strong sustainability in coastal areas: A conceptual interpretation of SDG 14. *Sustainability Science*, 12, 1019–1035. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0472-y>
- Newton, A. C., & Cantarello, E. (2015). Restoration of forest resilience: An achievable goal? *New Forests*, 46(5), 645–668. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9489-1>
- O'Donnell, F. C., Flatley, W. T., Springer, A. E., & Fulé, P. Z. (2018). Forest

- restoration as a strategy to mitigate climate impacts on wildfire, vegetation, and water in semiarid forests. *Ecological Applications*, 28(6), 1459–1472. <https://doi.org/10.1002/eap.1746>
- Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J. B., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C. D. L., Petchey, O. L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K. B., Mace, G. M., Martín-López, B., Woodcock, B. A., & Bullock, J. M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(11), 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>
- Pandey, R. (2024). Sustainable Development Goal 14: Safeguarding the delicate balance of life beneath the waves: Assessing the purpose & progress of Agenda 2030. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 6(3). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i03.22549>
- Peng, J., Tian, L., Zhang, Z., Zhao, Y., Green, S. M., Quine, T. A., Liu, H., & Meersmans, J. (2020). Distinguishing the impacts of land use and climate change on ecosystem services in a karst landscape in China. *Ecosystem Services*, 46, 101199. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101199>
- Penjor, U., Wangdi, S., Tandin, T., & Macdonald, D. W. (2020). Vulnerability of mammal communities to the combined impacts of anthropic land-use and climate change in the Himalayan conservation landscape of Bhutan. *Ecological Indicators*, 121, 107085. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107085>
- Pham, H. V., Sperotto, A., Torresan, S., Acuña, V., Jorda-Capdevila, I., Rianna, G., Marcomini, A., & Critto, A. (2019). Coupling scenarios of climate and land-use change with assessments of potential ecosystem services at the river basin scale. *Ecosystem Services*, 40, 101045. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101045>
- Pita, K., Wickham, S. B., Davis, E. L., Lauriault, P., Johnson, A., Le, N. Q., Mullally, S., Schang, K., Smitas-Kraas, M. M. A., Wittmann, E., & Trant, A. J. (2024). How does restoration ecology consider climate change uncertainties in forested ecosystems? *Restoration Ecology*, 32(8), e14265.

<https://doi.org/10.1111/rec.14265>

- Pradhan, K., Ettinger, A. K., Case, M. J., & Hille Ris Lambers, J. (2023). Applying climate change refugia to forest management and old-growth restoration. *Global Change Biology*, 29, 3692–3706. <https://doi.org/10.1111/gcb.16714>
- Prober, S. M., Byrne, M., McLean, E. H., Steane, D. A., Potts, B. M., Vaillancourt, R. E., & Stock, W. D. (2015). Climate-adjusted provenancing: A strategy for climate-resilient ecological restoration. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 65. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00065>
- Ren, J. W. F., & Coffman, G. C. (2023). Integrating the resilience concept into ecosystem restoration. *Restoration Ecology*, 31(5), e13907. <https://doi.org/10.1111/rec.13907>
- Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., McElwee, P., Molnár, Z., Öllerer, K., Wilson, S. J., & Brondizio, E. S. (2018). The contributions of Indigenous Peoples and local communities to ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(1), 3–8. <https://doi.org/10.1111/rec.12894>
- Rillig, M. C., Lehmann, A., Rongstock, R., Li, H., & Harris, J. (2024). Moving restoration ecology forward with combinatorial approaches. *Global Change Biology*, 30(6), e17361. <https://doi.org/10.1111/gcb.17361>
- Rodrigues, R. R., Gandolfi, S., & Brancalion, P. H. S. (2015). *Restauração florestal*. Oficina de Textos.
- Runting, R. K., Bryan, B. A., Dee, L. E., Maseyk, F. J. F., Mandle, L., Hamel, P., Wilson, K. A., Yetka, K., Possingham, H. P., & Rhodes, J. R. (2017). Incorporating climate change into ecosystem service assessments and decisions: A review. *Global Change Biology*, 23(1), 28–41. <https://doi.org/10.1111/gcb.13457>
- Sannigrahi, S., Chakraborti, S., Joshi, P. K., Keesstra, S., Sen, S., Paul, S. K., Kreuter, U., Sutton, P. C., Jha, S., & Dang, K. B. (2019). Ecosystem service value assessment of a natural reserve region for strengthening protection and conservation. *Journal of Environmental Management*, 244, 208–227.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.095>

- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Shackelford, N., Hobbs, R. J., Burgar, J. M., Erickson, T. E., Fontaine, J. B., Laliberté, E., Ramalho, C. E., Perring, M. P., & Standish, R. J. (2013). Primed for change: Developing ecological restoration for the 21st century. *Restoration Ecology*, 21(3), 297–304.
- Shaver, E. C., McLeod, E., Hein, M. Y., Palumbi, S. R., Quigley, K., Vardi, T., ... & Wachenfeld, D. (2022). A roadmap to integrating resilience into the practice of coral reef restoration. *Global Change Biology*, 28(16), 4751–4764. <https://doi.org/10.1111/gcb.16212>
- Shaw, E., Walpole, S., McLean, M., Alvarez-Nieto, C., Barna, S., Bazin, K., Behrens, G., Chase, H., Duane, B., El Omrani, O., Elf, M., Faerron Guzmán, C. A., Falceto de Barros, E., Gibbs, T. J., Groome, J., Hackett, F., Harden, J., Hothersall, E. J., Hourihane, M., ... Woollard, R. (2021). AMEE consensus statement: Planetary health and education for sustainable healthcare. *Medical Teacher*, 43(3), 272–286. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2020.1860207>
- Shirmohammadi, B., Malekian, A., Salajegheh, A., Taheri, B., Azarnivand, H., Malek, Ž., & Verburg, P. H. (2020). Impacts of future climate and land use change on water yield in a semiarid basin in Iran. *Land Degradation & Development*, 31(10), 1252–1264. <https://doi.org/10.1002/ldr.3554>
- Smith, C. S., DeMattia, E. A., Albright, E., Bromberger, A. F., Hayward, O. G., Mackinson, I. J., ... & Zhao, Z. (2025). Beyond despair: Leveraging ecosystem restoration for psychosocial resilience. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(2), e2307082121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2307082121>

- SER – Society for Ecological Restoration. (2002). *The SER primer on ecological restoration*. Society for Ecological Restoration Science and Policy Working Group. www.ser.org/
- SER – Society for Ecological Restoration. (2004). *The SER international primer on ecological restoration* (2nd ed.). Science and Policy Working Group. Society for Ecological Restoration. <http://floridalivingshorelines.com/wp-content/uploads/2015/05/Clewell.Aronson.Winterhalder.2004-SER-Primer.pdf>
- Stefanes, M., Ochoa-Quintero, J. M., Roque, F. O., Sugai, L. S. M., Tambosi, L. R., Lourival, R., & Laurance, S. (2016). Incorporating resilience and cost in ecological restoration strategies at landscape scale. *Ecology and Society*, 21(4), 54. <https://doi.org/10.5751/ES-08922-210454>
- Stoddard, M. T., Roccaforte, J. P., Sánchez Meador, A. J., Huffman, D. W., Fulé, P. Z., Waltz, A. E. M., & Covington, W. W. (2021). Ecological restoration guided by historical reference conditions can increase resilience to climate change of southwestern U.S. ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 493, 119256. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119256>
- Strassburg, B. B. N., Iribarrem, A., Beyer, H. L., Cordeiro, C. L., Crouzeilles, R., Jakovac, C. C., Junqueira, A. B., Lacerda, E., Latawiec, A. E., Balmford, A., Brooks, T. M., Butchart, S. H. M., Chazdon, R. L., Erb, K.-H., Brancalion, P., Buchanan, G., Cooper, D., Díaz, S., Donald, P. F., ... Visconti, P. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586, 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- Suding, K. N., Collins, C. G., Hallett, L. M., Larios, L., Brigham, L. M., Dudley, J., Farrer, E. C., Larson, J. E., Shackelford, N., & Spasojevic, M. J. (2024). Biodiversity in changing environments: An external-driver internal-topology framework to guide intervention. *Ecology*, 105(8), e4322. <https://doi.org/10.1002/ecy.4322>
- Svejcar, L. N., Davies, K. W., & Ritchie, A. L. (2023). Ecological restoration in the age of apocalypse. *Global Change Biology*, 29, 4706–4710.

<https://doi.org/10.1111/gcb.16809>

- Swails, E., Yang, X., Asefi, S., Hergoualc'h, K., Verchot, L., McRoberts, R. E., & Lawrence, D. (2018). Linking soil respiration and water table depth in tropical peatlands with remotely sensed changes in water storage from the Gravity Recovery and Climate Experiment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 575–590. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9822-z>
- Tedesco, A. M., López-Cubillos, S., Chazdon, R., Mills, M., Santos, F. C., & Dean, A. J. (2023). Beyond ecology: Ecosystem restoration as a process for social-ecological transformation. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(7), 643–653. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.02.007>
- Timpane-Padgham, B. L., Beechie, T., & Klinger, T. (2017). A systematic review of ecological attributes that confer resilience to climate change in environmental restoration. *PLoS ONE*, 12(3), e0173812. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173812>
- Toca, L., Morrison, K., Artz, R., Gimona, A., & Quaife, T. (2022). High resolution C-band SAR backscatter response to peatland water table depth and soil moisture: A laboratory experiment. *International Journal of Remote Sensing*, 43, 5231–5251. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2131478>
- Torres-Soto, N. Y., Corral-Verdugo, V., & Corral-Frías, N. S. (2022). The relationship between self-care, positive family environment, and human wellbeing. *Wellbeing, Space and Society*, 3, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.wss.2022.100076>
- United Nations General Assembly (UNGA). (2015). *A/Res/70/1 Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (21 October 2015). <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>
- United Nations General Assembly (UNGA). (2019). *Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019: 73/284. United Nations Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030.*

<https://digitallibrary.un.org/record/3794317?ln=ru>

- Upton, R. N., Bach, E. M., & Hofmockel, K. S. (2018). Belowground response of prairie restoration and resiliency to drought. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266, 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.021>
- Vitt, P., Finch, J., Barak, R. S., Braum, A., Frischie, S., & Redlinski, I. (2022). Seed sourcing strategies for ecological restoration under climate change: A review of the current literature. *Frontiers in Conservation Science*, 3, 938110. <https://doi.org/10.3389/fcosc.2022.938110>
- Voolstra, C. R., Buitrago-López, C., Perna, G., Cárdenas, A., Hume, B. C. C., Rådecker, N., & Barshis, D. J. (2020). Standardized short-term acute heat stress assays resolve historical differences in coral thermotolerance across microhabitat reef sites. *Global Change Biology*, 26, 4328–4343. <https://doi.org/10.1111/gcb.15148>
- Walters, S., Robinson, T., Byrne, M., & Nevill, P. (2022). Seed sourcing in the genomics era: Multispecies provenance delineation for current and future climates. *Restoration Ecology*, 30, e13718. <https://doi.org/10.1111/rec.13718>
- Wang, W., Xu, C., & Li, Y. (2023). Priority areas and benefits of ecosystem restoration in Beijing. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(35), 83600–83614. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28255-9>
- Yang, Q., Liu, G., Casazza, M., Dumontet, S., & Yang, Z. (2021). Ecosystem restoration programs challenges under climate and land use change. *Science of the Total Environment*, 807, 150527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150527>
- Zhao, X., Ren, B., Li, D., Garber, P. A., Zhu, P., Xiang, Z., Grueter, C. C., Liu, Z., & Li, M. (2019). Climate change, grazing, and collecting accelerate habitat contraction in an endangered primate. *Biological Conservation*, 231, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.007>

CAPÍTULO 2

³NAVEGANDO NA INTERAÇÃO ENTRE RESTAURAÇÃO DE ECOSSISTEMAS, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SAÚDE HUMANA: ABORDANDO DESAFIOS COM UM ESTUDO DE CASO NA EUROPA CENTRAL

RESUMO

O capítulo explora o nexos entre restauração de ecossistemas, mudanças climáticas e saúde humana, visando mitigar o estresse térmico ao conectar o ODS 15 ao ODS 13 e ao ODS 3. O trabalho é baseado em um estudo de caso na Polônia (município de Wieliczka), onde, após calcular a unidade topoclimática e o UTCI para cada unidade topoclimática, foi apresentada a diversidade espacial do conforto térmico para os habitantes. Os resultados em contrastes térmicos refletiram a forte variação do estresse térmico em cada tipo de clima e o valor médio do UTCI dentro do mesmo tipo de clima é aproximadamente 1,2 °C inferior em áreas rurais em comparação às áreas urbanas. Os resultados mostraram o papel da vegetação no conforto térmico. O estudo conclui que projetos de restauração permitem a criação de microclimas adequados para o conforto térmico humano e que a modificação planejada da paisagem urbana pode gerar melhorias nas condições térmicas para os habitantes.

Palavras-chave: topoclima, UTCI, estresse térmico, conforto térmico humano, mitigação, adaptação.

³ Capítulo intitulado “*Navigating the interplay of Ecosystem Restoration, Climate Change and Human Health: addressing challenges with a case study in Central Europe*” foi aceito para publicação no Global Nexus Handbook, volume 3 (Wiley). A notificação de aceite foi recebida em 3 de dezembro de 2024 (Anexo D). Tem como co-autores: Kamil Leziak, Carlos Hiroo Saito, e Aneta Afelt.

1. INTRODUÇÃO

O aumento das ameaças globais, como a perda de biodiversidade decorrente do desmatamento desenfreado, as mudanças climáticas de origem antropogênica e o agravamento da pobreza, tem ampliado a conscientização sobre o papel mitigador que as paisagens naturais podem desempenhar (Brancalion & Holl, 2020; Di Sacco et al., 2021). Assim, esse cenário levou ao surgimento de iniciativas globais notáveis e relevantes voltadas à conservação e à restauração dos ecossistemas. Os efeitos e as reações às mudanças climáticas estão intrinsecamente conectados ao desenvolvimento sustentável, conforme tratado no Relatório Brundtland (1987), que o define como “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades” (AGNU, 1987). Esse modelo de desenvolvimento sustentável visa, em última instância, equilibrar o bem-estar social (em bases éticas, legais e políticas) com a prosperidade econômica e a proteção ambiental (Hibbard & Karle, 2002; Gomes & Ferreira, 2018).

Na busca por esses objetivos, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) integrantes da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (AfSD 2030), aprovados em 2015, oferecem uma estrutura consolidada para avaliar as conexões entre o aquecimento global e os objetivos de desenvolvimento. Embora explicitamente abordados no ODS 13, essas conexões também podem ser associadas a outros objetivos, como a erradicação da pobreza, redução das desigualdades e a ação climática, abrangendo um total de 17 ODS, 169 metas e 232 indicadores a serem alcançados até 2030. Além disso, a própria Declaração inclui a visão, os princípios e os compromissos a serem adotados coletivamente pelos Estados signatários (AGNU, 2015; Kronemberger, 2019). Entre eles, “não deixar ninguém para trás” pode ser abordado como a promessa central da 2030 AfSD e seus ODS, representando o principal compromisso para reduzir as desigualdades e vulnerabilidades, combater a pobreza, a discriminação e a exclusão em todas as suas formas. Apesar desses esforços, a definição de metas por si só não é suficiente para garantir um resultado bem-sucedido. O desafio da transição (isto é, passar da condição atual para uma mais

sustentável (depende da capacidade de superar as fortes interdependências e os bloqueios entre os próprios ODS e as diferentes iniciativas de transição sustentável (Markard et al., 2012). A mudança climática tornou-se, progressivamente, um fator-chave que influencia o resultado do AfSD 2030. Zamignan et al. (2022), por meio de uma análise sistêmica das relações internas dos ODS com base nas suas metas e objetivos, afirmam que o ODS 13 está conectado a todos os 17 ODS, com destaque para os ODS 11, 8, 4 e 2. De acordo com Waage et al. (2015), apesar das sinergias potenciais reconhecíveis (como o fato de que a conservação florestal pode mitigar as mudanças climáticas ou de que o combate às mudanças climáticas pode reduzir a perda de recifes de corais), ainda há uma ausência de modelos e caminhos claros que articulem essas interações e orientem a transformação da governança.

Este pode ser o caso da interação entre restauração e mudanças climáticas. Em 2020, a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou que o período de 2021 a 2030 seria a "Década da Restauração de Ecossistemas" (Fischer et al., 2021), cujo principal objetivo é intensificar os esforços de recuperação de ecossistemas degradados, por meio da criação de medidas eficazes para combater a crise climática. Por sua vez, o ODS número 15 – Vida na Terra – visa "proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação do solo e deter a perda de biodiversidade" (AGNU, 2015). Articulado à instituição da "Década das Nações Unidas para a Restauração de Ecossistemas", o ODS 15 representa um incentivo para que os governos assumam compromissos concretos com a restauração ecológica, promovendo o equilíbrio ambiental, social e alimentar (Fischer et al., 2021).

A restauração de áreas degradadas gera melhorias ambientais, econômicas e sociais significativas para a população local e para o meio ambiente (Hibbard & Karle, 2002; Brancalion et al., 2012). Embora essas iniciativas sejam relevantes, é importante ressaltar que a Resolução A/RES/73/284 das Nações Unidas, que designa a "Década da Restauração de Ecossistemas", reconhece explicitamente a ligação com as mudanças climáticas, destacando a necessidade de integrar a restauração de

ecossistemas em políticas e planos. Dada a degradação dos ecossistemas marinhos e terrestres, o declínio da biodiversidade e a vulnerabilidade crescente às mudanças climáticas, uma análise completa das interdependências e dos potenciais co-benefícios ou conflitos entre a restauração de ecossistemas e as mudanças climáticas torna-se essencial (UNGA, 2019). Um efeito específico das mudanças climáticas que afeta a saúde humana é o aumento das temperaturas e a ocorrência de ondas de calor, levando as comunidades a estresse térmico, ao desconforto e a riscos à saúde (Harlan & Ruddell, 2011; Campbell et al., 2018). A presença de superfícies verdes não construídas (espaços verdes) pode melhorar o bem-estar humano em áreas urbanas, além de garantir diversos serviços ambientais, em consonância com os princípios da Saúde Única (Felappi et al., 2020). A falta de espaços verdes também pode ser indicador de injustiça ambiental (Silva et al., 2023a,b). Diante disso, a restauração de ecossistemas pode ajudar a mitigar esse estresse térmico, conectando o ODS 15 ao ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima, que tem como uma de suas metas fortalecer a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e desastres naturais (AGNU, 2015). Além disso, a criação de ambientes mais saudáveis e a redução de riscos climáticos também se articulam com o ODS 3 – Saúde e Bem-estar, que busca assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades, incluindo a redução de mortes e doenças associadas à poluição e ao estresse térmico (AGNU, 2015).

Este capítulo tem como objetivo apresentar considerações iniciais sobre o nexo restauração de ecossistemas, mudanças climáticas e saúde humana, e responder ao desafio de identificar locais prioritários para promoção da restauração ecológica voltada ao bem-estar humano no contexto das mudanças climáticas, com base em um estudo de caso realizado na Polônia (município de Wieliczka). O estudo de caso feito na Polônia, num município único, deveu-se ao fato de haver disponibilidade de dados que permitissem testar a aplicação da metodologia e ganhar familiaridade com a mesma, para que no contexto da tese, pudesse ser depois transposta para a escala do Pantanal. Além da mudança de escala e extensão territorial, o estudo de caso na Polônia tinha por característica principal o ambiente urbano. A transposição

para o Pantanal, apresentado no capítulo 3 seguinte representa também a expansão da metodologia para ambientes rurais também.

O município de Wieliczka está localizado na Europa Central, no sul da Polônia, a sudeste de Cracóvia (Fig. 1a; Fig. 1b). Geomorfologicamente, é caracterizado por um relevo acidentado, típico das terras altas da Carpácia, com altitudes entre 224 e 361 metros acima do nível médio do mar. Sua população total chega a 76.500 habitantes, dos quais 40% vivem dentro dos limites da cidade de Wieliczka, que integra a área de aglomeração metropolitana de Cracóvia. Os 60% restantes da população residem em aldeias vizinhas, localizadas principalmente nos vales (www.wieliczka.eu). A densidade populacional é de 1.740 habitantes por km², enquanto a cidade de Wieliczka ocupa cerca de 13% da área total do município. Em 2023, o município elaborou um Plano Estratégico de Adaptação às Mudanças Climáticas (www.wieliczka.esesja.pl).

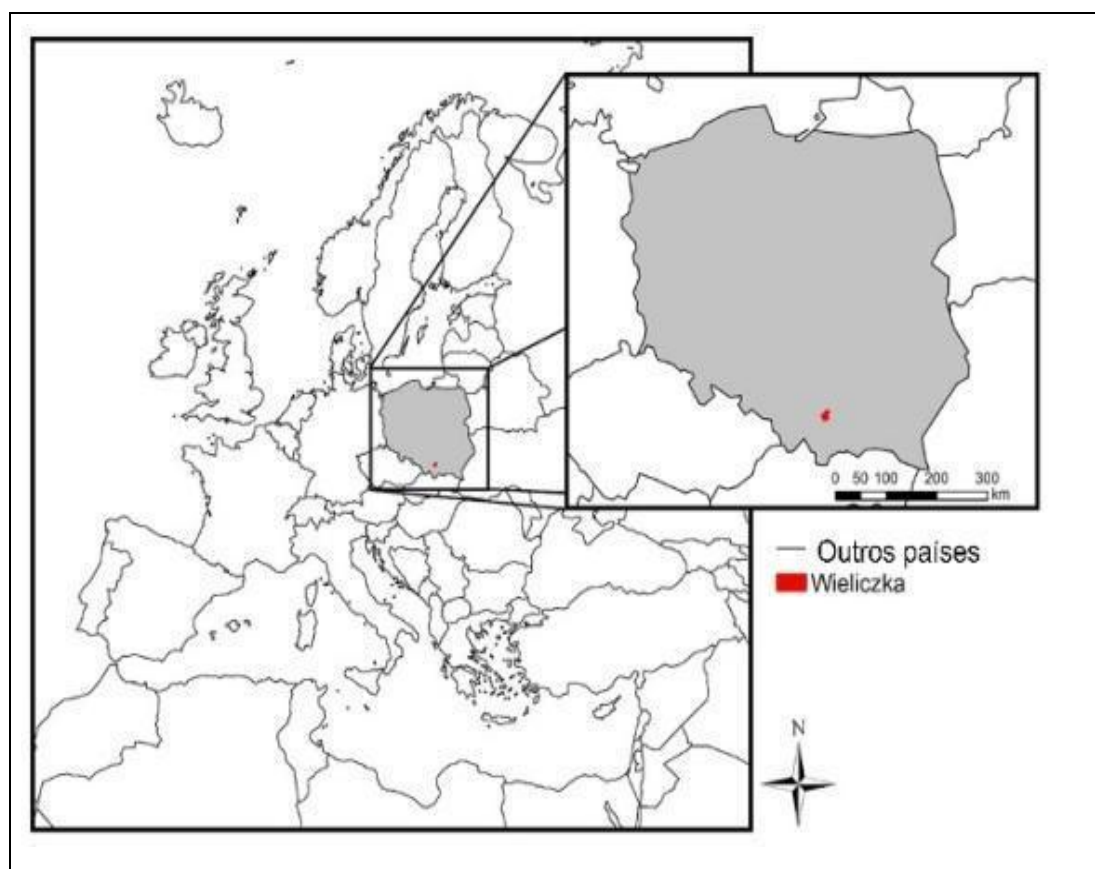


Figura 1. Localização do município de Wieliczka, Polónia.

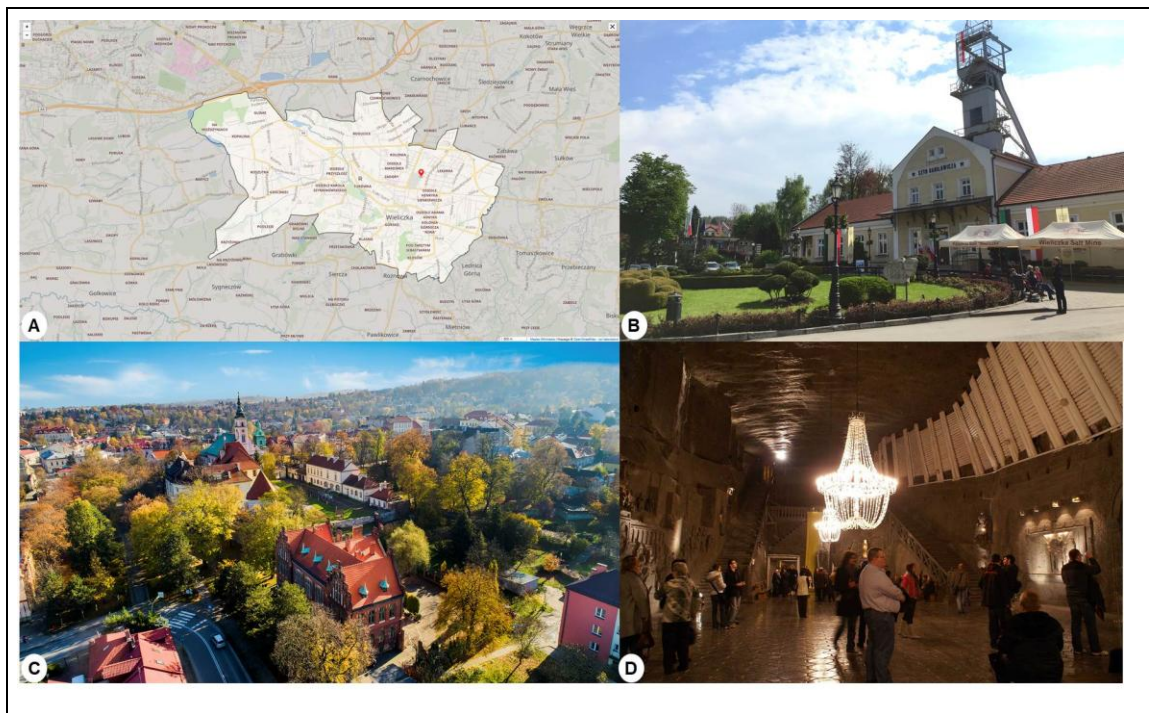


Figura 1b. Localização e pontos turísticos da cidade de Wieliczka, na Polônia. (A) Mapa da cidade de Wieliczka e região (Google Maps). (B) Entrada principal da Mina de Sal de Wieliczka (fonte: Wikimedia Commons). (C) Vista aérea do centro histórico de Wieliczka, com destaque para a Igreja de São Clemente (fonte: Adobe Stock). (D) Interior da Mina de Sal de Wieliczka, com esculturas e lustres feitos de sal (fonte: Wikimedia Commons).

2. A INFLUÊNCIA MÚTUA ENTRE A RESTAURAÇÃO DE ECOSISTEMAS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Mudança climática é uma variação de longo prazo no estado médio e na variabilidade do clima, frequentemente causada por processos naturais, atividades humanas ou fatores externos impactam variáveis como temperatura, padrões de precipitação e eventos climáticos extremos (Kumar et al., 2019; Zorko et al., 2022). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) indica que mudança climática se refere a uma alteração no estado do clima que pode ser identificada, por exemplo, por meio de análises estatísticas que demonstram mudanças na média e/ou variabilidade de suas propriedades, e que persistem por um período prolongado, geralmente décadas ou mais (Rimpika et al., 2021). Os níveis de dióxido de carbono (CO₂)

aumentaram 47,3%, atingindo médias anuais de 410 partes por milhão, e o metano (CH₄) alcançou 1866 partes por bilhão, um crescimento de 157,8%. A temperatura média da superfície do planeta já aumentou 1,1 °C em relação à média entre 1850 e 1900, considerando o período de 2011 a 2020. O IPCC alerta que ultrapassar o limite de 1,5 °C de aquecimento global resultará em impactos significativos para a humanidade e a biodiversidade, como secas, inundações, ondas de calor e elevação do nível do mar (Díaz et al., 2019; Malhi et al., 2020, IPCC, 2023). Além dos riscos à biodiversidade discutidos no contexto das mudanças climáticas, grupos de trabalho internacionais têm adotado abordagens distintas para enfrentar esse desafio.

Os ecossistemas estão passando por rápidas transformações em resposta às mudanças climáticas e a outros fatores de mudança global. Essas alterações excedem as variações de temperatura e abrangem ajustes relacionados à precipitação, à concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, ao equilíbrio hídrico, à química dos oceanos e à frequência e intensidade de eventos extremos (Malhi et al., 2020). A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), que entrou em vigor no final de 1993, visa proteger a diversidade biológica e garantir o uso sustentável de seus componentes de forma equitativa e justa. Uma das mais recentes Conferências das Partes da Convenção, realizada no Canadá no final de 2022 (COP, 2015), concluiu com um acordo inovador (Marco Global da Biodiversidade Kunming-Montreal) para interromper e reverter a perda da natureza até 2030. ⁴Posteriormente, a COP 16 realizada em 2024 na Colômbia teve como foco principal a implementação do Marco Global da Biodiversidade aprovado em 2022, tendo logrado consolidar o Órgão Subsidiário Permanente da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), com a participação formal e contínua de povos indígenas e comunidades locais nas decisões globais sobre biodiversidade. A proteção da biodiversidade está alinhada às dimensões do desenvolvimento humano, aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (AGNU, 2015), à Década das Nações Unidas da Restauração de Ecossistemas (AGNU, 2019) e às missões apresentadas na COP15, com o objetivo de

⁴ À época em que este capítulo foi submetido à publicação, a COP 16 da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) ainda não havia sido realizada.

desacelerar a perda de biodiversidade por meio da conservação e da restauração (CBD, 2021; Lerambert, 2022; Baldwin-Cantello et al., 2023).

A influência humana sobre esses sistemas bióticos atingiu proporções extraordinárias. Tais mudanças são tão significativas que os mapas atuais da Terra deixaram de ser desenhados com base nos limites dos sistemas naturais, sendo agora organizados conforme os ecossistemas predominantemente transformados pela ação humana (Alessa e Chapin, 2008; Ellis et al., 2024). Além disso, mudanças na cobertura do solo podem causar alterações climáticas abruptas na superfície terrestre, especialmente quando modificam o albedo e as taxas de evapotranspiração (Turner et al., 2020; Sieber et al., 2022; Pilotto et al., 2023). O albedo e a disponibilidade de umidade no solo influenciam os fluxos de água e energia, afetando as condições atmosféricas e de sensação térmica tanto locais quanto remotas.

A conversão de florestas em pastagens ou culturas não irrigadas nos trópicos também induz o aquecimento, porque as florestas, além de apresentarem menor albedo, permitem elevadas taxas de transpiração, que ajudam a regular a temperatura (Bounoua et al., 2002; Tölle, 2022; Lane et al., 2023). Além disso, a urbanização pode desencadear interações complexas que intensificam o aquecimento climático, ultrapassando o conhecido efeito de ilha de calor urbana (Garuma, 2022; Li et al., 2022; Feinberg, 2023). As interações entre clima e cobertura do solo podem resultar em mudanças abruptas na produtividade dos ecossistemas (Baguskas et al., 2018; Turner et al., 2020), nos fluxos de carbono (Carbone et al., 2013), nos regimes de perturbação, como incêndios florestais (Williams et al., 2019; Rogers et al., 2020) e na distribuição de espécies (Araújo et al., 2005; Nunez et al., 2019).

Estudos indicam que a probabilidade de extinções em cascata é menor em ecossistemas com maior diversidade de grupos funcionais (Alvarez et al., 2019; Rogers et al., 2021). Essa diversidade implica considerar igualmente importantes as espécies abundantes e dominantes, menos abundantes, competitivas e raras, reforçando a concepção da biodiversidade como "seguro ecossistêmico" (Yachi e Loreau, 1999; Dee et al., 2019; Trew e Maclean, 2021; Loreau et al., 2021). Quando há alta diversidade funcional e elevada diversidade de respostas dentro desses grupos funcionais, a resiliência dos

ecossistemas frente às mudanças ambientais pode ser significativamente aumentada (Elmqvist et al., 2003; Oliver et al., 2015; Biggs et al., 2020).

A escala e a velocidade das mudanças climáticas causadas pela atividade humana estão aumentando a probabilidade de transformações abruptas em ecossistemas terrestres, aquáticos e marinhos em escala global (Ratajczak et al., 2018). Mooney et al. (2009) relatam que não estamos apenas testemunhando a perda de espécies e populações, mas também a deterioração de comunidades ecológicas inteiras, resultando na redução de sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos. A contribuição das mudanças climáticas para futuras extinções está intimamente relacionada à rapidez com que as espécies e ecossistemas conseguem se adaptar a essas transformações; portanto, as mudanças climáticas em curso constituem uma fonte adicional de estresse para espécies já ameaçadas por alterações ambientais, tanto locais quanto globais, agravando o risco de extinção (McCarty, 2001; Leclerc et al., 2020; Åkesson et al., 2021).

Embora mudanças ecológicas tenham sido observadas paralelamente às mudanças climáticas globais ao longo dos últimos milênios (Shuman, 2012; Williams e Burke, 2019), a importância de compreender como os ecossistemas responderão às atuais mudanças climáticas de origem antropogênica torna-se cada vez mais evidente à medida que o aquecimento se intensifica (Malhi et al., 2020; Turner et al., 2020). Além disso, outros fatores, como a exploração de recursos naturais vivos, o fluxo e o transporte de nutrientes, estão sendo constantemente modificados pela ação humana (Steffen et al., 2015). Essas mudanças adicionais podem aumentar a vulnerabilidade dos ecossistemas e interagir com o clima de formas inesperadas (Zscheischler et al., 2018; Wang et al., 2020).

O potencial para proteger, restaurar e utilizar ecossistemas como ferramentas para enfrentar as mudanças climáticas tem ganhado cada vez mais destaque no contexto mais amplo das "Soluções Baseadas na Natureza", com foco na mitigação das mudanças climáticas (Griscom et al., 2017; Seddon et al., 2020). Malhi et al. (2020) argumentam que a gestão cuidadosa e a restauração de ecossistemas podem desempenhar papéis significativos na mitigação e na adaptação às mudanças climáticas.

3. PROCURANDO SOLUÇÕES – COMO SE ADAPTAR ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PERSPECTIVA DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Alcançar o desenvolvimento sustentável em diferentes níveis (especialmente local e regional), preservando a estabilidade estrutural e a funcionalidade dos ecossistemas naturais, continua sendo um desafio global de grande magnitude (Peng et al., 2018; Wang et al., 2020; Chen et al., 2023). A restauração de ecossistemas pode ser considerada uma das principais soluções para melhorar a qualidade de vida em ambientes antropizados (Gann et al., 2019). Pesquisas têm explorado diferentes cenários de restauração (climáticos, econômicos e outros) e fornecido orientações valiosas para ações restaurativas (Hibbard & Karle, 2002; Strassburg et al., 2020; Liu et al., 2022).

É fundamental implementar medidas de restauração ecológica com base na identificação de áreas prioritárias usando várias ferramentas, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e softwares especializados, com o objetivo de aprimorar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, contribuindo para mitigar os impactos das mudanças climáticas e perturbações humanas (Lee et al., 2002; Strassburg et al., 2020; Zhang et al. 2023).

Considerando o objetivo de conectar a restauração de ecossistemas às mudanças climáticas e à saúde humana, por meio da mitigação do estresse térmico, é necessário compreender os conceitos interligados de estresse térmico e conforto térmico para avançar em abordagens metodológicas adequadas. A ausência de conforto térmico caracteriza-se como estresse térmico (Macpherson 1973; Coccolo et al. 2016; Potchter et al. 2018).

Neste estudo, a análise de dados reais, baseada em um estudo de caso da Europa Central (município de Wieliczka, Polônia), busca determinar o limiar de densidade de tecido urbanizado que favoreça a redução significativa do estresse térmico.

3.1. Conforto térmico, topoclima e Índice Climático Térmico Universal

O conforto térmico pode ser definido de diversas maneiras sob uma perspectiva biofísica (Binarti et al., 2020). A mais comum e, também, a mais complexa do ponto de vista fisiológico, é aquela baseada no Índice Climático

Térmico Universal (UTCI) (Błażejczyk, 2010; Bröde et al., 2012), que é calculado com base nos parâmetros meteorológicos locais em cada unidade topoclimática. Entende-se como uma unidade topoclimática aquela área internamente coerente e homogênea, caracterizada por condições climáticas específicas (topoclima), que diferem daquelas predominantes em unidades vizinhas (Błażejczyk, 2001; Afelt et al., 2022).

As condições topoclimáticas foram determinadas com base na metodologia proposta para o mapa topoclimático geral da Polônia (Błażejczyk, 2001) e posteriormente adaptada por Afelt et al. (2022). Foram coletadas informações sobre as características do ambiente natural que influenciam a estrutura do balanço de calor e radiação da superfície ativa (isto é, a superfície acessível pela luz solar). Três propriedades principais foram consideradas: (1) o relevo, sua declividade e orientação; (2) a cobertura do solo e os tipos de uso; e (3) permeabilidade do solo, conforme apresentado e aplicado por Afelt et al. (2022).

Assim, após o cálculo das unidades topoclimáticas e do UTCI em cada uma delas, o mapa resultante representa a diversidade espacial do conforto térmico para os habitantes locais (Błażejczyk, 2010).

Os valores do UTCI são expressos em °C e determinam objetivamente (ou seja, independentemente da percepção subjetiva do indivíduo) o estresse térmico ao qual o corpo humano está exposto sob determinadas condições de calor ou frio. Para calcular o valor do UTCI, foi utilizada a seguinte fórmula proposta por Błażejczyk (2010) e empregada por Afelt et al. (2022):

$$\text{UTCI} = 3,21 + 0,872 \cdot t + 0,2459 \cdot \text{Mrt} - 2,5078 \cdot v_{10} - 0,0176 \cdot f,$$

onde:

UTCI - Índice Climático Térmico Universal [° C],

t - temperatura do ar [° C],

Mrt - temperatura radiante média [° C],

v₁₀ - velocidade do vento a 10 metros acima do nível do solo [ms⁻¹],

f - umidade relativa [%].

A vantagem do UTCI está na ampla escala da análise, referenciada às condições topoclimáticas atuais. O valor do índice pode ser calculado em uma matriz raster, individualmente para cada pixel, resultando em uma grade de alta resolução (30-100 metros) que representa a diversidade espacial do conforto térmico. As simulações são realizadas com base nas condições térmicas da atmosfera, de forma independente para quatro "tipos de clima" predefinidos, que podem ocorrer durante a estação quente (com temperatura do ar de 20°C, 25°C, 30°C e 35°C, respectivamente). Admite-se que o UTCI está fortemente relacionado às unidades topoclimáticas, o que torna as previsões de conforto térmico estritamente vinculadas às condições locais, determinadas pela qualidade, quantidade e propriedades do espaço analisado.

3.2. Condições climáticas gerais do município de Wieliczka

O município pertence a uma zona climática temperada, com um tipo de clima de transição quente. O território é caracterizado por um relevo variado, o que resulta em uma diversidade topoclimática relativamente alta: a parte norte está localizada no amplo vale do Vístula e pertence à subzona climática submontana de planícies e bacias, sobreposta por características do outro clima local encontrado dentro do município — o do sopé de Wieliczka. A temperatura média anual do ar está na faixa de 7,4-8,2°C, enquanto a temperatura média mínima varia de 3,5°C a mais de 5,0°C. A maior diferença entre as temperaturas máximas e mínimas anuais ocorre no Vale do Vístula. A precipitação anual acumulada está na faixa de 650-800 mm e a duração do período de vegetação varia de 200 a 215 dias.

A variação das condições topoclimáticas é representada em uma grade com resolução de 100 x 100 m por pixel (Fig. 2). O quadro geral da distribuição das unidades topoclimáticas corresponde bem às propriedades do solo, ao uso do solo e à radiação solar refletida. A unidade topoclimática nº 13 representa a área urbanizada, enquanto as áreas verdes (terras agrícolas e florestas) são representadas pelas unidades nº 11 e 32, respectivamente (segundo o produto CORINE Land Cover, versão de 2018). De acordo com esse levantamento, 6,7% da área é coberta por floresta, terras agrícolas ocupam 83% (incluindo 27% de prados) e a parcela da área urbanizada é de 10%.

As projeções climáticas futuras foram avaliadas para dois horizontes temporais: as décadas de 2051-2060 e 2091-2100. Para essa análise, utilizou-se um cenário desfavorável de mudanças climáticas (cenário RCP 8.5 – *Representative Concentration Pathway*, que considera um forçamento radiativo líquido de $8,5 \text{ W/m}^2$). Os dados foram obtidos a partir das projeções climáticas mais recentes em escala local para a Polônia, desenvolvidas no âmbito do projeto KLIMADA 2.0, coordenado pelo Instituto de Proteção Ambiental - Instituto Nacional de Pesquisa (disponível em: <https://klimada2.ios.gov.pl/>).

Os resultados indicam os seguintes padrões climáticos para os horizontes de 2050 e final do século XXI:

- um aumento lento de $2\text{-}5^\circ\text{C}$ na temperatura do ar, mais acentuado em zonas altamente urbanizadas;
- a principal mudança climática na região será um aumento no número de dias com temperaturas acima de 25°C . As simulações sugerem que esse número pode atingir até 90% (cenário RCP 8.5) do total de dias por ano (!), em comparação com a média de 46 dias anuais observada nos últimos 20 anos;
- uma tendência crescente na quantidade de precipitação, com:
 - ☐ uma redução na duração da precipitação;
 - ☐ uma maior intensidade de precipitação;
 - ☐ um número de dias com precipitação que diminuirá ligeiramente;
 - ☐ um aumento no número de dias com precipitação muito baixa (a chamada precipitação ineficaz, que não contribui para a renovação dos recursos hídricos da hidrosfera)
- a velocidade do vento deve diminuir em média (devido ao movimento de ar predominantemente convectivo), porém ventos em rajadas locais de curto prazo são previstos.
- não são previstas mudanças significativas na radiação solar, pois a cobertura de nuvens deve permanecer próxima ao nível atual.

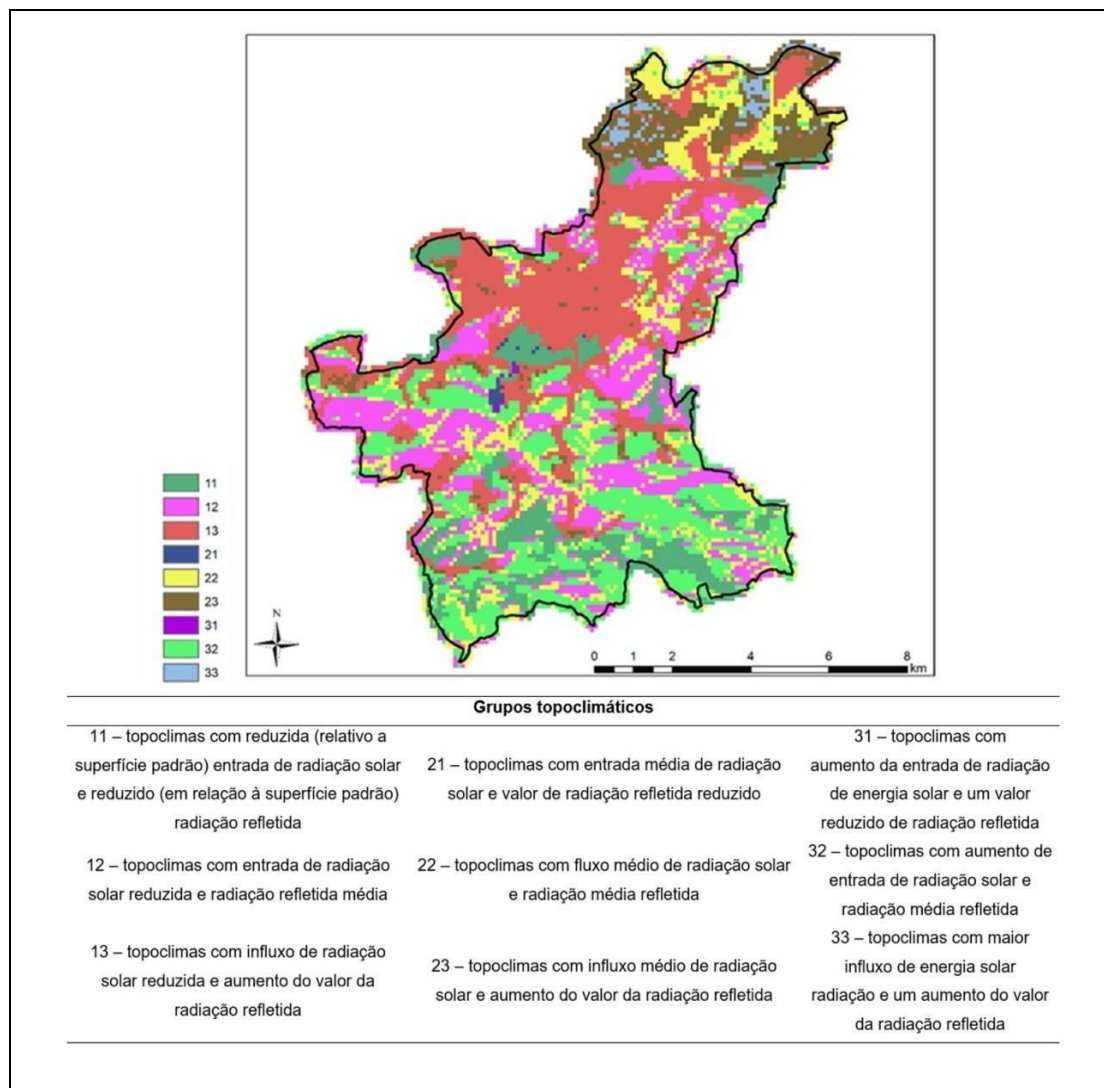


Figura 2. Unidades topoclimáticas do município de Wieliczka, adaptadas ao plano estratégico de mudança climática (2023), com codificação das unidades segundo Afelt et al., 2022.

3.3. Métodos e dados sobre o impacto das mudanças climáticas no conforto térmico humano

Para o cálculo do UTCI, foram utilizados dados meteorológicos do Instituto de Meteorologia e Gestão da Água - Instituto Polonês de Pesquisa, incluindo: temperatura do ar (máxima, mínima e média); umidade relativa; velocidade do vento. O índice foi calculado para quatro cenários climáticos característicos da estação quente (conforme descrito na seção 3.1). A Figura 3 apresenta a distribuição espacial do estresse térmico para cada condição

analisada e suas respectivas consequências biofisiológicas, classificadas em 6 níveis de estresse térmico humano.

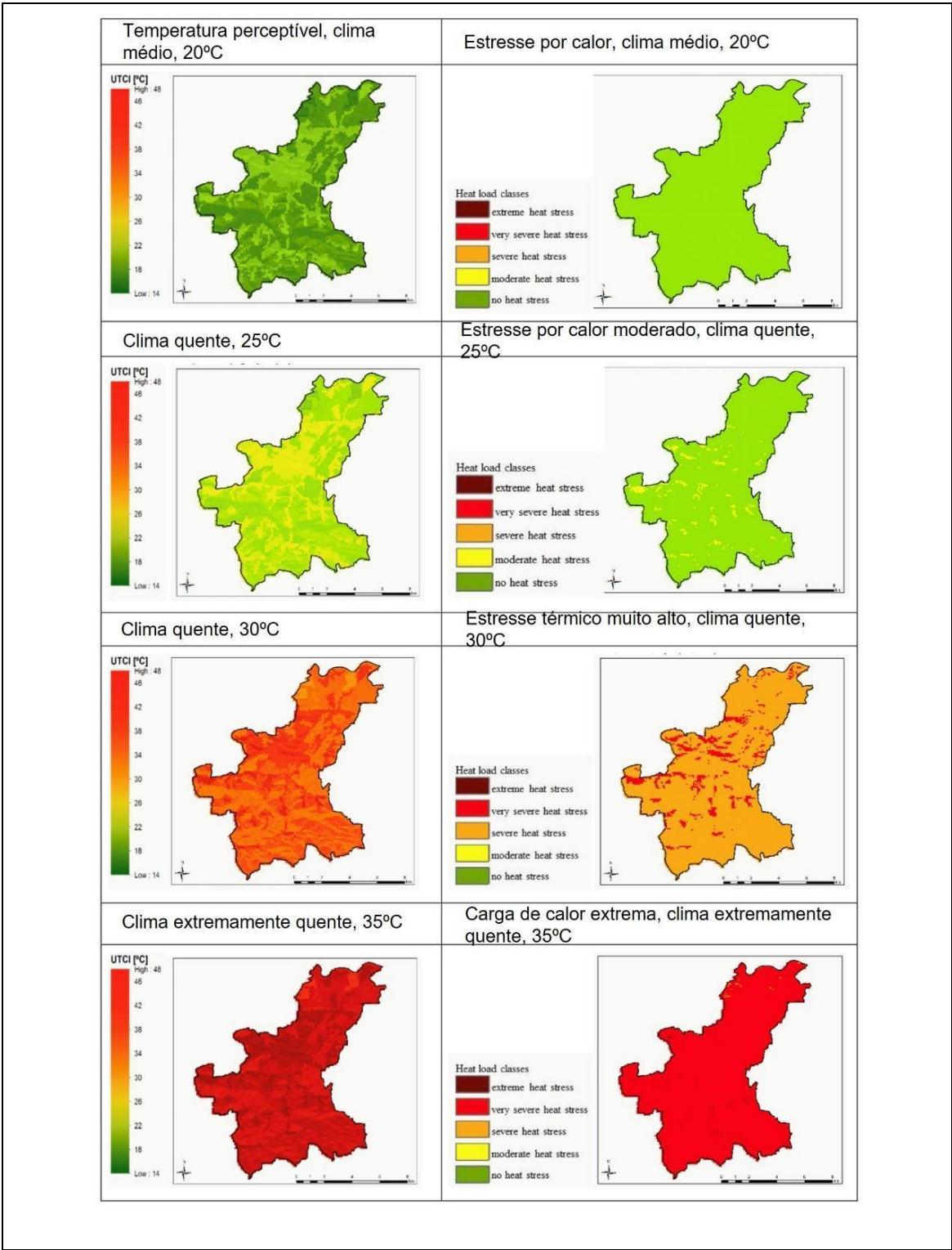


Figura 3. Distribuição espacial do estresse térmico (UTCI) para quatro tipos climáticos no município de Wieliczka. Legenda das classes de estresse

térmico: (Vermelho escuro) estresse por calor extremo; (vermelho) estresse por calor muito severo; (laranja) estresse por calor severo; (amarelo) estresse por calor moderado; (verde) sem estresse por calor.

Para avaliar a influência de zonas naturais e seminaturais no conforto térmico, realizamos uma análise estatística dos UTCI. Os resultados foram calculados e comparados entre três categorias de uso do solo (Fig. 4):

- A. Urbano - áreas de desenvolvimento urbano (altamente urbanizadas);
- B. Rural - áreas rurais urbanizadas com urbanização moderada;
- C. Vegetação - áreas cobertas por vegetação (campos cultivados ou naturais), sem urbanização.

Para cada tipo de área terrestre, foi delineado um conjunto representativo de polígonos de teste (Fig. 4, Tab. 1). A delimitação dos polígonos foi realizada em ortofotos de alta resolução, garantindo áreas totais de estudo comparáveis entre as zonas. Os polígonos foram rasterizados e reamostrados para uma grade de pixels de 100 x 100 m, correspondendo à resolução dos arquivos raster que armazenam os valores UTCI para os diferentes tipos climáticos. Para cada categoria de área terrestre, a permeabilidade da superfície foi estimada em quatro classes (Tab. 2), utilizando dados do repositório Copernicus.

Tabela 1. Área total dos polígonos de teste usados para determinar os valores UTCI por tipos de uso do solo (correspondentes à Fig. 4.).

Tipo de área de terra	Área [m²]
Urbano	7.929.513
Rural	7.940.950
Vegetação	8.098.191

Tabela 2. Participação de classes com permeabilidade nos polígonos de teste por tipos de uso do solo [%]

Impermeabilidade do solo	Participação em tipos de área [%]		
	Urbano	Rural	Vegetação
<50%	29,8	74,7	95,9
50-75%	39,0	21,6	3,7
75-90%	19,7	3,1	0,3
>90%	11,5	0,7	0,0

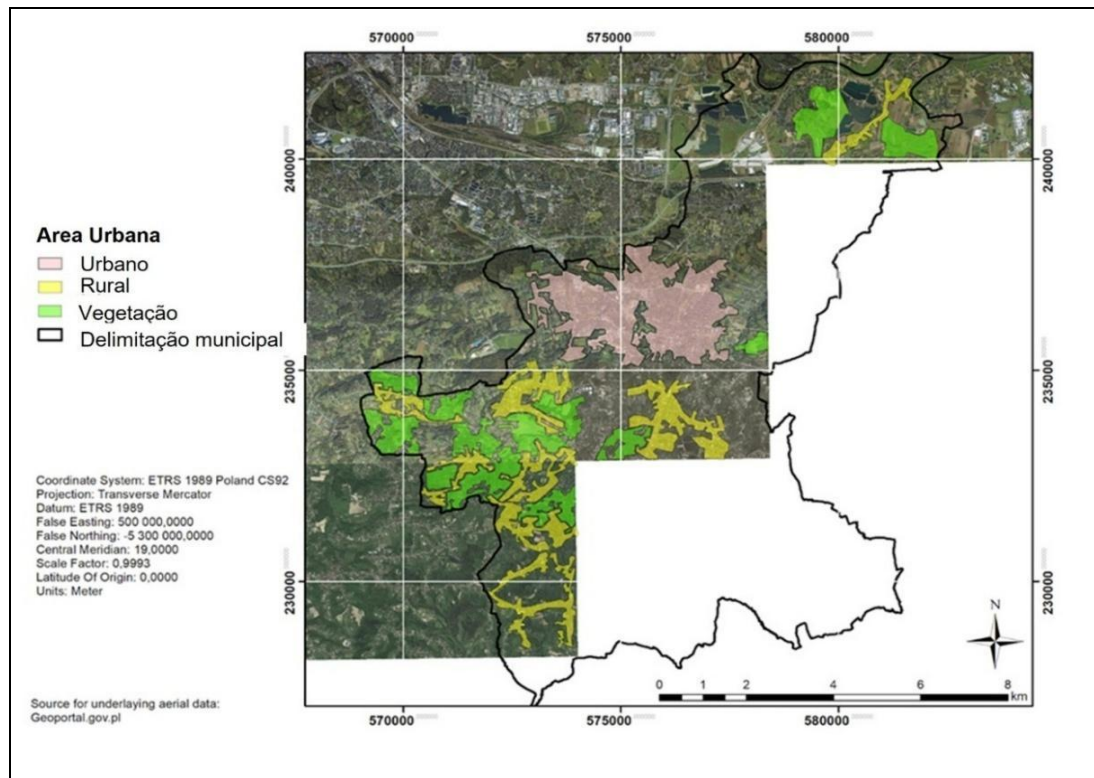


Figura 4. Polígonos de amostragem para três tipos de uso do solo (urbano, rural, vegetação) no município de Wieliczka. Baseado em dados aerofotogramétricos do Geoportal.gov.pl.

Posteriormente, os valores UTCI foram extraídos de todos os pixels localizados em cada categoria de uso de solo (urbano, rural, vegetação), separadamente para cada tipo de clima considerado, com base nos resultados apresentados na Figura 3. Para cada tipo climático, os conjuntos de valores UTCI obtidos de diferentes tipos de categoria foram comparados entre si. A comparação direta foi realizada usando o método de resumo estendido de 5 números (Hoaglin et al. 2000), considerando a média aritmética, mediana, valor mínimo, valor máximo, 25º e 75º percentis (1º e 3º quartis), mediante script autoral criado no ambiente de computação R. Os resultados são apresentados como boxplots, empregando um método de Tukey modificado (Chambers et al. 1983) (Fig. 5). A mediana é representada com uma linha preta espessa e a média aritmética com um sinal '+'. Adicionalmente, o intervalo de confiança da mediana foi plotado como recuos nas laterais das caixas. O intervalo de confiança da mediana foi calculado segundo a fórmula:

$$x = M \pm 1,57 \frac{IQR}{\sqrt{n}}$$

onde:

x - valor do limite inferior ou superior do intervalo de confiança, respectivamente;

M - valor mediano;

IQR - valor do intervalo interquartil;

n - número de observações (Chambers et al., 1983).

Na apresentação por boxplots (Fig. 5), a barra inferior indica o menor valor empírico de UTCI, calculado como primeiro quartil menos 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). A barra superior representa o maior valor empírico, equivalente ao terceiro quartil mais 1,5 IQR. Outliers são representados por círculos além dessas barras: o círculo superior indica o valor máximo absoluto e o inferior o valor mínimo absoluto em um determinado conjunto. Para avaliar a significância estatística das diferenças entre os valores do UTCI de séries originárias de diferentes categorias de uso do solo, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras, considerando cada par de conjuntos de valores do UTCI (urbano-rural, urbano-vegetação e rural-vegetação), separadamente para cada tipo de clima. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

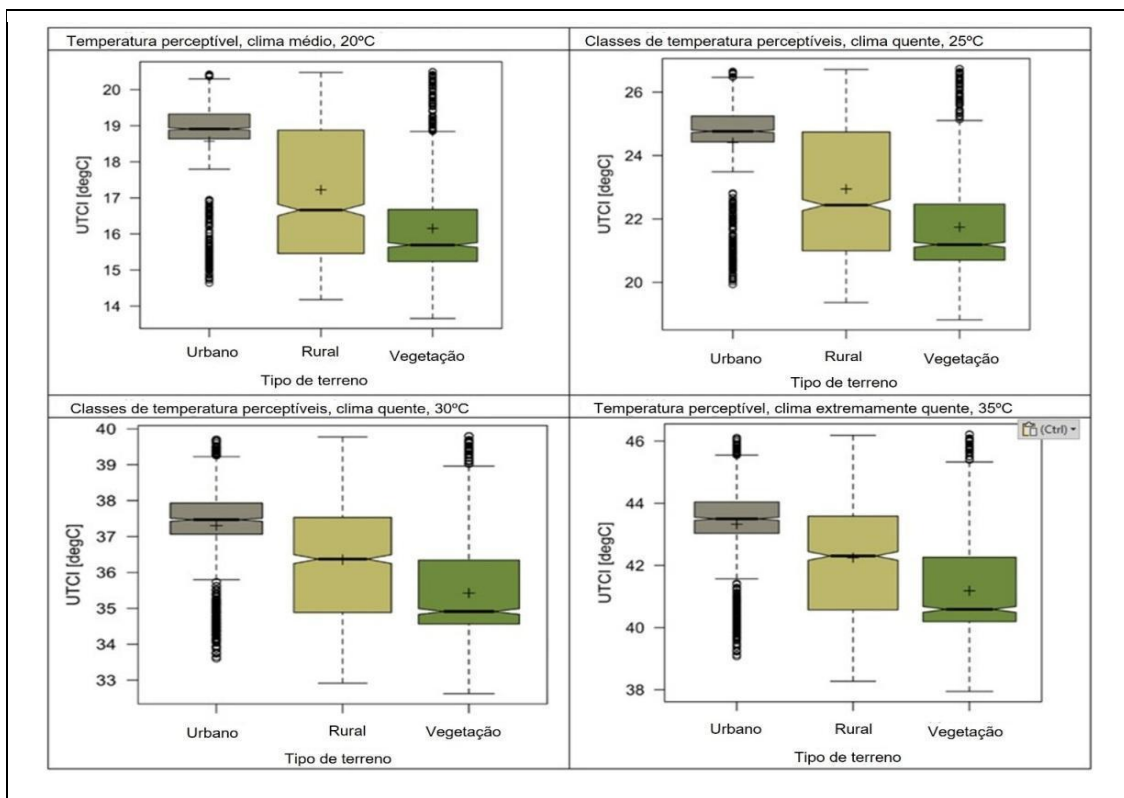


Figura 5. Variação dos UTCI em áreas urbanas, rurais e de vegetação para os quatro tipos climáticos analisados.

Tabela 3. Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov de duas amostras para cada par entre os valores de UTCI nos pares de uso do solo: urbano-rural, urbano-vegetação e rural-vegetação.

Série UTCI comparada	D	p	α	Significância estatística
AW_U e AW_R	0,45	0	0,05	verdadeiro
AW_U e AW_V	0,72	0	0,05	verdadeiro
AW_R e AW_V	0,29	0	0,05	verdadeiro
WW_U e WW_R	0,47	0	0,05	verdadeiro
WW_U e WW_V	0,72	0	0,05	verdadeiro

WW_R e WW_V	0,29	0	0,05	verdadeiro
HW_U e HW_R	0,44	0	0,05	verdadeiro
HW_U e HW_V	0,66	0	0,05	verdadeiro
HW_R e HW_V	0,27	0	0,05	verdadeiro
ExW_U e ExW_R	0,43	0	0,05	verdadeiro
ExW_U e ExW_V	0,65	0	0,05	verdadeiro
ExW_R e ExW_V	0,27	0	0,05	verdadeiro

AW - clima médio, WW - clima quente, HW - clima quente, ExW - clima extremamente quente, categoria de uso e ocupação do solo: U - urbana, R - rural, V - vegetação, D - valor das estatísticas do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Fontes de dados e processamento:

- O Modelo Digital de Elevação foi adquirido do repositório SRTM;
- Cobertura do solo e permeabilidade foram obtidos do repositório Copernicus e processados utilizando o Sistema de Informação Geográfica ArcMap 10.8.2.
- Análises estatísticas foram conduzidas no ambiente R 4.3.2, incluindo:
 - ☐ Teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras; e
 - ☐ Geração de boxplots e histogramas.

3.4. Resultados e Discussão

Constatamos que, em todos os tipos climáticos (médio, morno, quente e extremamente quente), os valores do UTCI variam significativamente conforme o tipo de uso do solo. As áreas urbanas apresentaram os maiores valores de UTCI, ao mesmo tempo em que demonstraram a menor variação interna,

refletida por um intervalo interquartil e um desvio-padrão mais baixo. Isso indica que as áreas urbanas concentram as condições biotérmicas mais desfavoráveis, com temperaturas aparentes significativamente superiores às observadas nos outros dois tipos de uso do solo analisados. Mesmo sob condições climáticas moderadas, a mediana do UTCI nas áreas urbanas supera o terceiro quartil do UTCI nas áreas rurais.

Os resultados em contrastes térmicos são refletidos na forte variação do estresse por calor em cada tipo climático. Dos três tipos de categorias de uso de solo, as áreas rurais apresentam a maior variação nos valores do UTCI, tanto em termos de intervalo interquartil quanto de desvio padrão. Em todos os casos analisados, elas também se caracterizam pela ausência de valores discrepantes, uma vez que os mínimos e máximos absolutos dos valores do UTCI permanecem dentro do limite de 1,5 vezes o intervalo interquartil acima do terceiro quartil e abaixo do primeiro quartil. Esse padrão decorre das peculiaridades da área rural, onde se observa um mosaico de estruturas antropogênicas (edifícios residenciais e agrícolas, praças e quintais pavimentados) e superfícies naturais ou seminaturais (áreas de vegetação doméstica: árvores, pomares e jardins).

As diferenças identificadas entre os tipos de uso do solo e para cada tipo climático são estatisticamente confirmadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Para todos os pares de valores UTCI comparados em cada tipo climático, as diferenças foram significativas ($\alpha = 0,05$), o que rejeita a hipótese nula de que pertencem à mesma população. Os intervalos de confiança das medianas dos três conjuntos de dados não apresentam sobreposição em nenhum dos boxplots. Com 95% de probabilidade, as medianas dos conjuntos de dados pertencem a populações distintas (Chambers et al., 1983).

A variação do estresse térmico em diferentes áreas está diretamente relacionada com sua estrutura de permeabilidade variável resultante do uso e ocupação do solo (Fig. 6). A percepção do calor nesse contexto está ligada ao vapor de água no ar, sendo determinada pelo acesso aos recursos hídricos armazenados no perfil do solo e ao vapor de água fornecido pela evapotranspiração das plantas. Na área urbana de Wieliczka, apenas 29,8% da superfície apresenta terreno permeável capaz de permitir livremente infiltração no perfil do solo - ou seja, terreno não desenvolvido, naturalizado, coberto com

vegetação ou composto por solo exposto (Fig. 6). Mais de 70% das áreas urbanas apresentam permeabilidade limitada, das quais mais de 3% são pouco permeáveis ou impermeáveis. Essa permeabilidade limitada se deve ao desenvolvimento urbano de alta densidade e à infraestrutura de comunicação impermeável (estradas, caminhos). Os resultados demonstram que, quando a proporção de áreas construídas ou superfícies impermeáveis artificiais ultrapassa 70%, observa-se um aumento significativo no UTCI e nos impactos climáticos negativos, em comparação com áreas rurais e terras cobertas por vegetação.

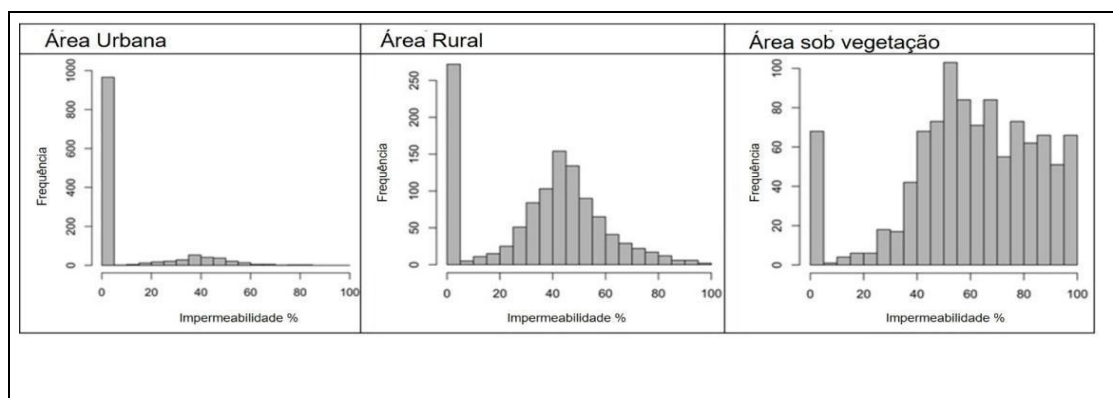


Figura 6. Frequência de permeabilidade para três tipos de usos do solo investigados: urbanizado, rural e vegetação. Os dados correspondem as regiões apresentadas na Figura 4.

Nas zonas rurais, quase três quartos da área são compostos por terras permeáveis com vegetação (Fig. 6). Além disso, 21,6% correspondem a superfícies moderadamente permeáveis, e as áreas pouco permeáveis e impermeáveis, associadas a construções, representam apenas 3,8%. Os valores UTCI em tal área são significativamente menores do que na área urbana. Isso mostra que a redução da densidade de edifícios e da proporção geral de superfícies artificiais no tecido urbano em favor de superfícies naturalizadas cobertas de vegetação pode ter consequências positivas para o bioclima local, tornando possível reduzir o estresse por calor em todos os tipos de clima. Embora as condições bioclimáticas mais favoráveis em termos de estresse por calor sejam encontradas nas áreas predominantemente cobertas por vegetação, onde a grande maioria da terra é permeável (quase 96% no caso do município de Wieliczka, Fig. 6), em cada tipo de área construída vale a

pena realizar medidas para reduzir a parcela de superfícies artificiais a fim de melhorar as condições climáticas atuais e futuras.

É significativo, mesmo que, em um determinado tipo de clima, os valores do UTCI em áreas urbanas, rurais e com vegetação pertençam exatamente à mesma classe de estresse térmico, a área urbana situa-se próximo ao limite superior da faixa, enquanto os valores nas áreas rurais e não urbanizadas situam-se na parte intermediária (Fig. 5). Isso se aplica particularmente a climas quentes, muito quentes e extremamente quentes. O exemplo das áreas de desenvolvimento rural mostra que a redução da densidade urbana e a introdução de áreas de vegetação, mesmo que fragmentadas, reduzem significativamente o estresse térmico, contribuindo para uma melhoria do conforto de vida na respectiva localidade.

O valor médio do UTCI para o mesmo tipo de clima é aproximadamente 1,2°C menor em áreas rurais em comparação com áreas urbanas, mas os benefícios, caso a caso, podem ser ainda maiores. As maiores diferenças possíveis entre os índices UTCI para um único tipo de clima chegam a quase 8°C. Isso demonstra que, com uma modificação adequada da estrutura do tecido urbano e a implementação de áreas naturais ou seminaturais, é possível obter melhorias significativas no conforto térmico dos habitantes de um ambiente antropogênico.

Diante do exposto, os resultados comprovam a influência da vegetação no conforto térmico. Estatisticamente, ao analisar o índice UTCI como resposta ao tipo de unidades topoclimáticas, comprova-se a presença de baixa permeabilidade no tecido urbano denso (Fig. 2, 3, 5, 6). O maior estresse térmico é evidente em áreas impermeáveis, como telhados, vias, estacionamentos externos, etc. Isso tem sua representação estatística nas diferenças entre as regiões cobertas por vegetação e o uso do solo rural (respectivamente, Fig. 5 e 6). Contudo, a questão é: como as condições climáticas futuras influenciarão a qualidade de vida existente, do ponto de vista térmico, e como melhorá-la?

Do ponto de vista metodológico, os resultados esclarecem a distribuição espacial da vulnerabilidade causada pelo estresse térmico. Dependendo da energia solar fornecida à superfície ativa e de sua resposta à radiação solar, determinados valores de UTCI são atingidos em vários tipos de clima,

juntamente com um certo nível de estresse térmico. Essa resposta ambiental existe independentemente da escala de tempo, ou seja, da duração de um determinado tipo de condição meteorológica.

O que faz a diferença são os períodos de certos tipos climáticos. Como Klingelhöfer et al. (2023) destacam, as pesquisas sobre as condições das ondas de calor são bastante recentes e regularmente estão associadas a parâmetros típicos como temperatura, período, área e mortalidade. Há dois aspectos que acompanham a presença das ondas de calor: (1) o número de pessoas expostas e (2) a previsão da presença e duração do fenômeno nas condições climáticas futuras.

Respondendo ao segundo aspecto, para o município de Wieliczka, o período anual previsto de temperatura máxima diária do ar igual ou superior a 25°C é apresentado na Figura 7, de acordo com o Programa KLIMADA2.0. Para o cenário RCP8.5, no final do século XXI, esperamos cerca de 80 dias com clima quente e extremamente quente anualmente. Isso significa que cerca de 22% do ano, ou seja, verão pleno, deve ser esperado com temperaturas elevadas. Comparando esse cenário com os resultados apresentados na Figura 3, é altamente provável que a área urbana do município de Wieliczka enfrente uma crise sazonal de conforto térmico.

Como demonstramos em nossa análise, para a mesma temperatura do ar, as condições térmicas humanas podem variar de altamente desfavoráveis na área urbanizada a aceitáveis na paisagem rural (Fig. 5). A diferença é determinada pela estrutura de uso e pela permeabilidade do solo (Fig. 4, 6). A análise estatística fornece o limite mínimo de 50% da permeabilidade da superfície para reduzir significativamente o estresse térmico (Tab. 2, 3; Fig. 6).

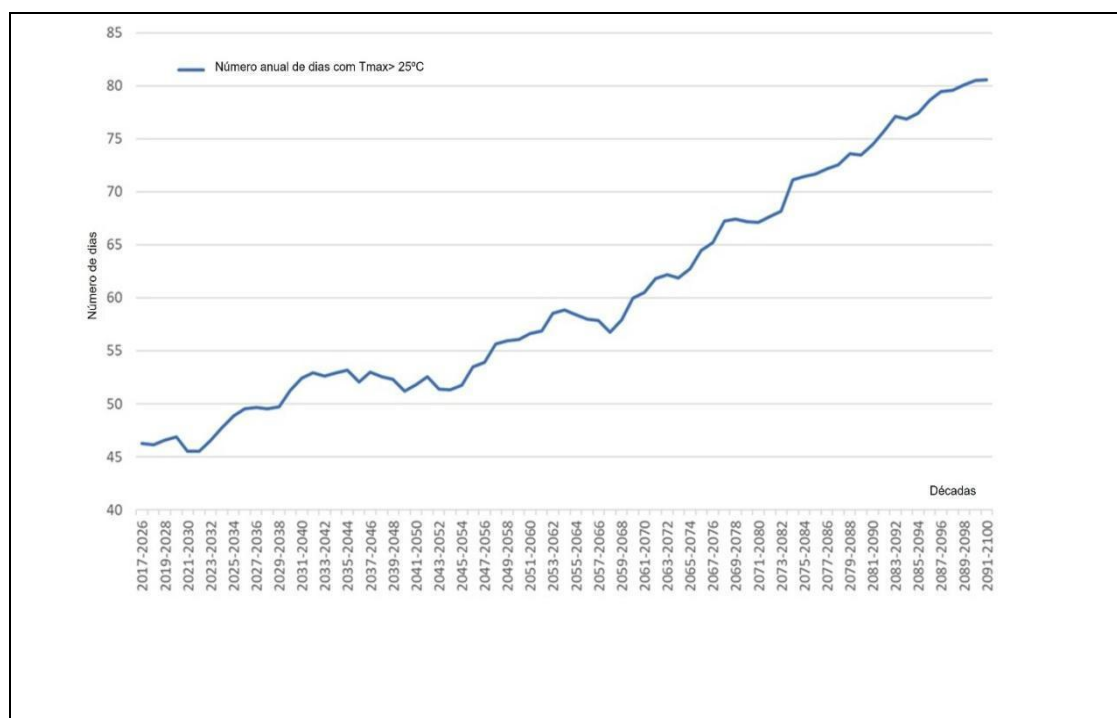


Figura 7. Número anual de dias com temperatura máxima diária acima de 25°C, previsto para o município de Wieliczka, cenário RCP8.5, cálculos feitos durante décadas, com base em www.klimada2.ios.gov.pl/ e EURO-CORDEX, reduzidos.

Considerando a resposta térmica já existente do tecido urbano e da infraestrutura municipal, enfatizamos que a solução para a adaptação às condições climáticas futuras é a restauração da biodiversidade. Como mostrado na tabela 3, a presença de vegetação reduz significativamente o estresse térmico, gerando até 9°C de diferença de temperatura em comparação com áreas densamente urbanizadas.

Atualmente, o impacto do estresse térmico nas cidades é inevitável sem investimentos tecnológicos em novos materiais e construções avançadas (Al-Yasiri & Szabó, 2023). Isso gera altos custos que frequentemente não são acessíveis em um curto período para os proprietários de infraestrutura, além de exigir tempo para a implementação de novas soluções. Como a modernização tecnológica das cidades é a direção esperada das ações (Hård & Misa, 2008), o que argumentamos é que existem outras soluções vantajosas para todos, melhorando a qualidade de vida e atendendo aos princípios de conservação da

biodiversidade. A restauração de ecossistemas, como, por exemplo, a infraestrutura verde-azul dentro do tecido urbanizado, proporciona um alívio para as condições térmicas exaustivas nas cidades.

4. CONCLUSÃO

Para as áreas reconhecidamente sob estresse térmico, aconselhamos a implementação de projetos de restauração que permitam a criação de microclimas adequados ao conforto térmico humano. A restauração de ecossistemas, incluindo ecossistemas presentes em áreas urbanas, apresenta-se como uma forma promissora de aliviar o impacto do aumento das condições térmicas nas cidades. Dessa forma, o conforto térmico das comunidades urbanas também pode ser significativamente apoiado.

Para a adaptação às mudanças climáticas em áreas urbanas, a restauração se apresenta como uma abordagem biodiversa, humana e tecnológica, sendo essencial na busca por cidades termicamente resilientes, sustentáveis e harmoniosas.

Os resultados apresentados comprovam a importância de modelar a eficácia dessas medidas em conjunto com a identificação de áreas prioritárias para a restauração de ecossistemas. Essa abordagem é de extrema importância para a formulação de estratégias futuras voltadas à restauração e ao desenvolvimento sustentável local e regional.

Limitações do artigo

Dependência de dados secundários: o estudo baseou-se em documentos oficiais, mapas digitais e literatura científica disponível em inglês e polonês, o que restringiu o detalhamento técnico e institucional da aplicação local do zoneamento.

Generalização de classes de uso do solo: a análise considerou três classes principais (urbano, rural e vegetação), o que pode ter simplificado a heterogeneidade real do território analisado.

5. REFERÊNCIAS

- Afelt, A., Szymalski, W., & Leziak, K. (2022). Urban thermal comfort–Reality and challenges. *Studia Ecologiae et Bioethicae*, 20(3). <https://doi.org/10.21697/seb.2022.24>
- Åkesson, A., Curtsdotter, A., Eklöf, A., Ebenman, B., Norberg, J., & Barabás, G. (2021). The importance of species interactions in eco-evolutionary community dynamics under climate change. *Nature Communications*, 12(1), 4759. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24977-x>
- Alessa, L., & Chapin, F. S. (2008). Anthropogenic biomes: A key contribution to earth-system science. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(10), 529–531. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.07.002>
- Alvarez, S. A., Gibbs, S. J., Bown, P. R., Kim, H., Sheward, R. M., & Ridgwell, A. (2019). Diversity decoupled from ecosystem function and resilience during mass extinction recovery. *Nature*, 574(7777), 242–245. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1590-8>
- Al-Yasiri, Q., & Szabó, M. (2023). Hourly analysis of temperature and heat gain reduction for building envelope-compacted phase change material in extremely hot conditions. *Journal of Energy Storage*, 68, 107838. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107838>
- Araújo, M. B., Pearson, R. G., & Rahbek, C. (2005). Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography*, 28(5), 693–695. <https://www.jstor.org/stable/3683759>
- Baguskas, S. A., Clemesha, R. E., & Loik, M. E. (2018). Coastal low cloudiness and fog enhance crop water use efficiency in a California agricultural system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 252, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.015>
- Baldwin-Cantello, W., Tickner, D., Wright, M., Clark, M., Cornelius, S., Ellis, K., Francis, A., Ghazoul, J., Gordon, J. E., Matthews, N., Milner-Gulland, E. J., Smith, P., Walmsley, S., & Young, L. (2023). The triple challenge: Synergies, trade-offs and integrated responses for climate, biodiversity, and

- human wellbeing goals. *Climate Policy*, 23(6), 782–799.
<https://doi.org/10.1080/14693062.2023.2175637>
- Biggs, C. R., Yeager, L. A., Bolser, D. G., Bonsell, C., Dichiera, A. M., Hou, Z., Keyser, S. R., Khursigara, A. J., Lu, K., Muth, A. F., Negrete Jr., B., & Erisman, B. E. (2020). Does functional redundancy affect ecological stability and resilience? A review and meta-analysis. *Ecosphere*, 11(7), e03184.
<https://doi.org/10.1002/ecs2.3184>
- Binarti, F., Koerniawan, M. D., Triyadi, S., Utami, S. S., & Matzarakis, A. (2020). A review of outdoor thermal comfort indices and neutral ranges for hot-humid regions. *Urban Climate*, 31, 100531.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100531>
- Błażejczyk, K. (2001). Koncepcja przeglądowej mapy topoklimatycznej Polski. In M. Kuchcik (Ed.), *Współczesne badania topoklimatyczne* (pp. 131–141). Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania.
https://rcin.org.pl/Content/6254/PDF/WA51_16137_r2000-nr23_Dokumentacja-Geogr.pdf
- Błażejczyk, K. (2010). UTCI–nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka = UTCI–new index for assessment of heat stress in man. *Przegląd Geograficzny*, 82(1), 49–71.
https://rcin.org.pl/igipz/Content/947/PDF/Wa51_10108_r2010-t82-z1_Przegląd-Geograficzny-Blazejczyk.pdf
- Bounoua, L., DeFries, R., Collatz, G. J., Sellers, P., & Khan, H. (2002). Effects of land cover conversion on surface climate. *Climatic Change*, 52, 29–64.
<https://doi.org/10.1023/A:1013051420309>
- Brancalion, P. H. S., & Holl, K. D. (2020). Guidance for successful tree planting initiatives. *Journal of Applied Ecology*, 205(4969), 2349–2361.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13725>
- Brancalion, P. H., Viani, R. A., Strassburg, B. B., & Rodrigues, R. R. (2012). Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva*, 63(239), 41–50.

https://www.rncalliance.org/WebRoot/rncalliance/Shops/rncalliance/509E/0633/706F/6EAF/F598/C0A8/D2F8/45D2/DTP2_239_English_Brancelion_0020_et_0020_al_4-10-12.pdf

- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., & Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56, 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Campbell, S., Remenyi, T. A., White, C. J., & Johnston, F. J. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*, 53, 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.08.017>
- Carbone, M. S., Park Williams, A., Ambrose, A. R., Boot, C. M., Bradley, E. S., Dawson, T. E., Schaeffer, S. M., Schimel, J. P., & Still, C. J. (2013). Cloud shading and fog drip influence the metabolism of a coastal pine ecosystem. *Global Change Biology*, 19(2), 484–497. <https://doi.org/10.1111/gcb.12054>
- Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B., & Tukey, P. A. (1983). Comparing data distributions: Notched box plots. In J. M. Chambers, W. S. Cleveland, B. Kleiner, & P. A. Tukey (Eds.), *Graphical methods for data analysis* (pp. xx–xx). Wadsworth International Group.
- Chen, X., Kang, B., Li, M., Du, Z., Zhang, L., & Li, H. (2023). Identification of priority areas for territorial ecological conservation and restoration based on ecological networks: A case study of Tianjin City, China. *Ecological Indicators*, 146, 109809. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109809>
- Coccolo, S., Kämpf, J., Scartezzini, J., & Pearlmutter, D. (2016). Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards. *Urban Climate*, 18, 33–57. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.08.004>
- CBD – Convention on Biological Diversity. (2021). *First draft of the post-2020 global biodiversity framework: Note by the Co-Chairs (CBD/WG2020/3/3)*. UNEP. <https://www.cbd.int/doc/c/abb5/591f/2e46096d3f0330b08ce87a45/wg2020->

- Dee, L. E., Cowles, J., Isbell, F., Pau, S., Gaines, S. D., & Reich, P. B. (2019). When do ecosystem services depend on rare species? *Trends in Ecology & Evolution*, 34(8), 746–758. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.03.010>
- Di Sacco, A., Hardwick, K. A., Blakesley, D., Brancalion, P. H., Breman, E., Cecilio Rebola, L., Dixon, K., Elliott, S., Ruyonga, G., Shaw, K., Smith, P., Smith, R. J., & Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, 27(7), 1328–1348. <https://doi.org/10.1111/gcb.15498>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., Chan, K. M. A., Garibaldi, L. A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G. F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., ... Zayas, C. N. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- Ellis, E. C. (2024). The Anthropocene condition: Evolving through social–ecological transformations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 379(1893), 20220255. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0255>
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488–494. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0488:RDECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2)
- Feinberg, A. (2023). Urbanization heat flux modeling confirms it is a likely cause of significant global warming: Urbanization mitigation requirements. *Land*, 12(6), 1222. <https://doi.org/10.3390/land12061222>
- Felappi, J. F., Sommer, J. H., Falkenberg, T., Terlau, W., & Kötter, T. (2020). Green infrastructure through the lens of “One Health”: A systematic review

- and integrative framework uncovering synergies and trade-offs between mental health and wildlife support in cities. *Science of The Total Environment*, 748, 141589. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141589>
- Fischer, J., Riechers, M., Loos, J., Martín-López, B., & Temperton, V. M. (2021). Making the UN Decade on Ecosystem Restoration a social-ecological endeavour. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.10.002>
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <http://hdl.handle.net/20.500.11937/88522>
- Garuma, G. F. (2022). How the interaction of heatwaves and urban heat islands amplify urban warming. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 3(2), 1–42. <https://doi.org/10.21926/aeer.2202022>
- Gomes, M. F., & Ferreira, L. J. (2018). Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável. *Direito e Desenvolvimento*, 9(2), 155–178. <https://doi.org/10.25246/direitoedesenvolvimento.v9i2.667>
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., ... Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Hård, M., & Misa, T. J. (2008). Modernizing European cities: Technological uniformity and cultural distinction. In M. Hård & T. J. Misa (Eds.), *Urban machinery: Inside modern European cities* (pp. 1–20). The MIT Press.
- Harlan, S. L., & Ruddell, D. M. (2011). Climate change and health in cities: Impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation

- and adaptation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001>
- Hibbard, M., & Karle, K. (2002). Ecosystem restoration as community economic development? An assessment of the possibilities. *Community Development*, 33(2), 39–60. <https://doi.org/10.1080/15575330209490092>
- Hoaglin, D. C., Mosteller, F., & Tukey, J. W. (2000). *Understanding robust and exploratory data analysis*. John Wiley & Sons.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H. Lee & J. Romero, Eds.). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Klingelhöfer, D., Braun, M., Brüggmann, D., & Groneberg, D. A. (2023). Heatwaves: Does global research reflect the growing threat in the light of climate change? *Global Health*, 19, 56. <https://doi.org/10.1186/s12992-023-00955-4>
- Kronemberger, D. M. P. (2019). Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. *Ciência e Cultura*, 71(1), 40–45. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000100012>
- Kumar, R., Pandey, A., Rana, R., & Yadav, A. (2019). Climate change and mitigation through agroforestry. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(6), 1684–1693. <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2019.806.198>
- Lane, P. N., Benyon, R. G., Nolan, R. H., Keenan, R. J., & Zhang, L. (2023). Forests, fire and vegetation change impacts on Murray-Darling Basin water resources. *Australasian Journal of Water Resources*, 27(1), 68–84. <https://doi.org/10.1080/13241583.2023.2179555>
- Leclerc, C., Courchamp, F., & Bellard, C. (2020). Future climate change vulnerability of endemic island mammals. *Nature Communications*, 11(1), 4943. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18740-x>

- Lee, J. T., Bailey, N., & Thompson, S. (2002). Using geographical information systems to identify and target sites for creation and restoration of native woodlands: A case study of the Chiltern Hills, UK. *Journal of Environmental Management*, 64(1), 25–34. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0495>
- Lerambert, A. (2022). United Nations-Convention on Biological Diversity and COP15. *WellBeing News*, 4(7), 2. <https://www.wellbeingintludiesrepository.org/wbn/vol4/iss7/2>
- Li, X., Stringer, L. C., & Dallimer, M. (2022). The impacts of urbanisation and climate change on the urban thermal environment in Africa. *Climate*, 10(11), 164. <https://doi.org/10.3390/cli10110164>
- Liu, Y., Liu, S., Wang, F., Liu, H., Li, M., Sun, Y., Wang, Q., & Yu, L. (2022). Identification of key priority areas under different ecological restoration scenarios on the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Environmental Management*, 323, 116174. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116174>
- Loreau, M., Barbier, M., Filotas, E., Gravel, D., Isbell, F., Miller, S. J., Montoya, J. M., Wang, S., Aussenac, R., Germain, R., Thompson, P. L., Gonzalez, A., & Dee, L. E. (2021). Biodiversity as insurance: From concept to measurement and application. *Biological Reviews*, 96(5), 2333–2354. <https://doi.org/10.1111/brv.12756>
- Macpherson, R. (1973). Thermal stress and thermal comfort. *Ergonomics*, 16(5), 589–599. <https://doi.org/10.1080/00140137308924552>
- Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., & Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190104. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>
- Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41(6), 955–967. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>
- McCarty, J. P. (2001). Consecuencias biológicas de cambios climáticos recientes. *Conservation Biology*, 15(2), 320–331.

<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x>

- Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmquist, T., Hoegh-Guldberg, O., Lavorel, S., Mace, G. M., Palmer, M., Scholes, R., & Yahara, T. (2009). Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.07.006>
- Nunez, S., Arets, E., Alkemade, R., Verwer, C., & Leemans, R. (2019). Assessing the impacts of climate change on biodiversity: Is below 2° C enough? *Climatic Change*, 154, 351–365. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02420-x>
- Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J. B., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C. D. L., Petchey, O. L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K. B., Mace, G. M., Martín-López, B., Woodcock, B. A., & Bullock, J. M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(11), 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>
- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Du, Y., Meersmans, J., & Qiu, S. (2018). Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *Science of the Total Environment*, 644, 781–790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.292>
- Pilotto, I. L., Rodriguez, D. A., Chou, S. C., Garofolo, L., & Gomes, J. L. (2023). Impacts of the land use and land-cover changes on local hydroclimate in southwestern Amazon. *Climate Dynamics*, 61, 5597–5612. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06872-x>
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T., & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment*, 631–632, 1039–1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>
- Ratajczak, Z., Carpenter, S. R., Ives, A. R., Kucharik, C. J., Ramiadantsoa, T., Stegner, M. A., Williams, J. M., Zhang, J., & Turner, M. G. (2018). Abrupt

- change in ecological systems: Inference and diagnosis. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(7), 513–526. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.04.013>
- Rimpika, Sharma, D. P., & Ajender. (2021). Vulnerability of temperate fruit production to climate change: Adaptation and mitigation measures: A review. *Agricultural Reviews*, 42(2), 190–196. <https://doi.org/10.18805/AG.R-2016>
- Rogers, B. M., Balch, J. K., Goetz, S. J., Lehmann, C. E., & Turetsky, M. (2020). Focus on changing fire regimes: Interactions with climate, ecosystems, and society. *Environmental Research Letters*, 15(3), 030201. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d3a>
- Rogers, H. S., Donoso, I., Traveset, A., & Fricke, E. C. (2021). Cascading impacts of seed disperser loss on plant communities and ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 52, 641–666. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-012221-111742>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Shuman, B. (2012). Patterns, processes, and impacts of abrupt climate change in a warm world: The past 11,700 years. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(1), 19–43. <https://doi.org/10.1002/wcc.152>
- Sieber, P., Ericsson, N., Hammar, T., & Hansson, P. A. (2022). Albedo impacts of current agricultural land use: Crop-specific albedo from MODIS data and inclusion in LCA of crop production. *Science of the Total Environment*, 835, 155455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155455>
- Silva, R. G. P., Lima, C. L., & Saito, C. H. (2023a). Urban green spaces and social vulnerability in Brazilian metropolitan regions: Towards environmental justice. *Land Use Policy*, 129, 106638. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106638>

- Silva, R. G. P., Lima, C. L., Quinn, S. D., Afelt, A., Laques, A.-E., & Saito, C. H. (2023b). Urban green spaces in Brazil: Challenges and opportunities in the context of the COVID-19 pandemic. *Studia Ecologiae et Bioethicae*, 21(1), 69–88. <https://doi.org/10.21697/seb.2023.06>
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81–98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- Strassburg, B. B. N., Iribarrem, A., Beyer, H. L., Cordeiro, C. L., Crouzeilles, R., Jakovac, C. C., Junqueira, A. B., Lacerda, E., Latawiec, A. E., Balmford, A., Brooks, T. M., Butchart, S. H. M., Chazdon, R. L., Erb, K.-H., Brancalion, P., Buchanan, G., Cooper, D., Díaz, S., Donald, P. F., ... Visconti, P. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586(7831), 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- Tölle, M. H. (2022). *Impact on climate by land-atmosphere interactions* (Doctoral dissertation, Universität Kassel). <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/14030>
- Trew, B. T., & Maclean, I. M. (2021). Vulnerability of global biodiversity hotspots to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 30(4), 768–783. <https://doi.org/10.1111/geb.13272>
- Turner, M. G., Calder, W. J., Cumming, G. S., Hughes, T. P., Jentsch, A., LaDeau, S. L., Lenton, T. M., Shuman, B. N., Turetsky, M. R., Ratajczak, Z., Williams, J. W., Williams, A. P., & Carpenter, S. R. (2020). Climate change, ecosystems and abrupt change: Science priorities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190105. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0105>
- United Nations General Assembly (UNGA). (1987). *A/42/427 Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N87/184/67/IMG/N8718467.pdf?OpenElement>
- United Nations General Assembly (UNGA). (2015). *A/Res/70/1 Transforming*

- our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development.
<https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>
- United Nations General Assembly (UNGA). (2019). *Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019: 73/284. United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030)*.
<https://digitallibrary.un.org/record/3794317?ln=ru>
- Waage, J., Yap, C., Bell, S., Levy, C., Mace, G., Pegram, T., Unterhalter, E., Dasandi, N., Hudson, D., Kock, R., Mayhew, S., Marx, C., & Poole, N. (2015). Governing the UN Sustainable Development Goals: Interactions, infrastructures, and institutions. *The Lancet Global Health*, 3(5), e251–e252.
[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(15\)70112-9](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(15)70112-9)
- Wang, S. W., Gebru, B. M., Lamchin, M., Kayastha, R. B., & Lee, W. K. (2020). Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. *Sustainability*, 12(9), 3925.
<https://doi.org/10.3390/su12093925>
- Williams, J. W., & Burke, K. (2019). Past abrupt changes in climate and terrestrial ecosystems. In T. Lovejoy & L. Hannah (Eds.), *Climate change and biodiversity: Transforming the biosphere* (pp. 128–141). Yale University Press.
- Williams, J. W., Burke, K. D., Crossley, M. S., Grant, D. A., & Radeloff, V. C. (2019). Land-use and climatic causes of environmental novelty in Wisconsin since 1890. *Ecological Applications*, 29(7), e01955.
<https://doi.org/10.1002/eap.1955>
- Yachi, S., & Loreau, M. (1999). Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(4), 1463–1468.
<https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1463>
- Zamignan, G., Almeida, A. C., Silva, R. G. P., Gaivizzo, L. H. B., Soares, D. N., & Saito, C. H. (2022). Agenda 2030: Inter-relações sistêmicas entre os

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 60, 543–566. <https://doi.org/10.5380/dma.v60i0.78530>

Zhang, J., Chen, H., Ma, Y., Liu, D., Liang, X., & Chen, W. (2023). Identification of priority areas for ecological restoration based on ecological security and landscape elements. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 35307–35325. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24711-0>

Zorko, M., Kovač, I., Kovač, S., Stanko, D., & Pandžić, K. (2022). Impact of global warming on average annual air temperature in Varaždin. *Environmental Engineering*, 9(1–2), 95–103. <https://doi.org/10.37023/ee.9.1-2.10>

Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B. J., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., AghaKouchak, A., Bresch, D. N., Leonard, M., Wahl, T., & Zhang, X. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), 469–477. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>

CAPÍTULO 3

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PANTANAL BRASILEIRO

Resumo: A intensificação das mudanças climáticas, aliada à pressão antrópica sobre o Pantanal, exige estratégias de restauração ecológica que incorporem critérios ambientais, climáticos e socioespaciais. Este estudo integrou à modelagem topoclimática, indicadores de estresse térmico humano (UTCI e WBGT) e critérios socioambientais para identificar áreas prioritárias para a restauração no bioma. Foram mapeadas sub-regiões com elevada vulnerabilidade térmica e pressão antrópica, com destaque para Miranda, situada na transição entre planalto e planície. A análise também contemplou atributos funcionais de 207 espécies nativas, das quais 18 foram priorizadas por seu potencial de resiliência e funcionalidade ecológica. Os resultados reforçam a importância de estratégias restaurativas baseadas na heterogeneidade ambiental, no uso de espécies adaptadas e na articulação com comunidades locais. As evidências geradas podem subsidiar políticas públicas voltadas à restauração adaptativa e à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas no Pantanal.

Palavras-chave: Restauração de Ecossistemas; Priorização Espacial; Estresse Térmico; Pantanal Brasileiro; Adaptação Climática; Políticas Ambientais.

1. INTRODUÇÃO

O Pantanal, maior área úmida tropical do mundo, estende-se por territórios do Brasil, Paraguai e Bolívia, sendo reconhecido por sua biodiversidade e dinâmica ecológica única. O pulso sazonal de inundações, impulsionado pelas estações chuvosa e seca, é fundamental para a produtividade da vegetação e para a manutenção de seus habitats aquáticos e terrestres (Schwerdtfeger et al., 2016; Ivory et al., 2019; Milien et al., 2023). Essa variabilidade hídrica, aliada à complexa interação entre fatores climáticos, hidrológicos e geológicos, molda a paisagem pantaneira, influenciada por megaleques, sistemas fluviais distributivos e controles tectônicos (Penatti et al., 2015; Silió-Calzada et al., 2017; Stevaux et al., 2020; Pereira et al., 2021; Merino et al., 2019; Schulz et al., 2019).

Contudo, atividades antrópicas como o desmatamento, a intensificação agropecuária e a construção de hidrelétricas nas áreas de planalto têm comprometido o equilíbrio hidrológico e ecológico do bioma, promovendo assoreamento, perda de biodiversidade e contaminação dos rios (Roque et al., 2016; Bergier et al., 2018; Boin et al., 2019; Schulz et al., 2019; Ikeda-Castrillon et al., 2022). Particularmente, alterações no regime hídrico, como as provocadas pela barragem de Manso, reduziram a resiliência do sistema às secas (Silió-Calzada et al., 2017; Ely et al., 2020). Além disso, o avanço de incêndios de grandes proporções, a supressão de vegetação nativa e o uso não sustentável dos recursos naturais afetam de forma crescente as funções ecossistêmicas do Pantanal, como regulação do ciclo hidrológico, recarga de aquíferos, sequestro de carbono e manutenção da fertilidade dos solos (MUPAN, 2025).

Esse cenário é agravado pelas mudanças climáticas, que intensificam eventos de seca e calor, impulsionados por anomalias oceânicas no Atlântico e Pacífico Norte (Marengo et al., 2015; Thielen et al., 2020, 2021). Desde 2000, essas ocorrências tornaram-se mais frequentes e severas, afetando o pulso de inundação e os ciclos ecológicos do Pantanal (Cunha et al., 2023; Lázaro et al., 2020). Modelos climáticos indicam tendências de redução de áreas úmidas e florestais, com avanço de pastagens e agricultura, podendo levar a uma queda da cobertura vegetal nativa de 87% para 83% até 2050 (Guerra et al., 2020; Justino et al., 2024). A combinação

entre secas extremas e incêndios tem provocado danos duradouros à vegetação natural e comprometido com a resiliência do ecossistema (Kumar et al., 2022; D'Acunha et al., 2024).

Nesse contexto, a restauração ecológica emerge como uma estratégia fundamental para promover a adaptação às mudanças climáticas, recuperar funções ecossistêmicas e melhorar o conforto térmico (Braidwood et al., 2018; Tomlinson et al., 2018; Zhang et al., 2021). Segundo o guia prático de restauração do Pantanal, intervenções restaurativas devem considerar a variabilidade ecológica do bioma, seus ciclos de inundação e a diversidade de fitofisionomias, sendo fundamental a escuta e o protagonismo das populações pantaneiras no diagnóstico e manejo das áreas degradadas (MUPAN, 2025). Técnicas como enriquecimento de vegetação nativa, controle de espécies invasoras, manejo de pastagem nativa e restauração hidrológica são recomendadas para promover resiliência climática e sociocultural. Técnicas de modelagem topoclimática, como o uso do Índice Climático Térmico Universal (UTCI), vêm sendo aplicadas na identificação de áreas prioritárias para restauração com base na vulnerabilidade climática (Back et al., 2020; Prasad & Satyanarayana, 2024; Jian et al., 2024).

Estudos recentes apontam que comunidades acima do solo, como vegetação e insetos, respondem de forma mais direta às variações de temperatura, enquanto raízes e microrganismos do solo apresentam respostas mais complexas, mediadas por fatores como umidade e composição vegetal (Cowles et al., 2016; Wang et al., 2016; Liu et al., 2018; Yang et al., 2020). Compreender essas respostas diferenciadas é essencial para orientar ações de manejo e restauração.

Além disso, a relação entre mudanças ambientais e conforto térmico humano vem ganhando destaque, sobretudo em regiões vulneráveis como o Pantanal (e.g. Polônia, Afelt et al., 2022). Neste estudo, a fim de almejar maior conforto térmico neste cenário de mudanças ambientais, aplicamos uma abordagem topoclimática (Afelt et al., 2022; Arguelho et al., no prelo) para identificar áreas prioritárias para restauração ecológica no Pantanal brasileiro, considerando a intensificação das mudanças climáticas e seus impactos sobre a vegetação, o clima local e o bem-estar humano, em diferentes cenários presente e considerando o mês mais quente no futuro, nos anos 2080-2090, modelo climático baseado no cenário do SSP5-8.5.

2. METODOLOGIA

Para desenvolver o estudo, uma sequência de passos foi adotada, desde a discretização da área de estudo em sub-regiões até sua hierarquização em termos de prioridade para restauração e, por fim, critérios para seleção das espécies a serem utilizadas na restauração das áreas priorizadas. Estes passos se encontram sintetizados na Figura 1 abaixo e detalhados nas sub-seções a seguir.

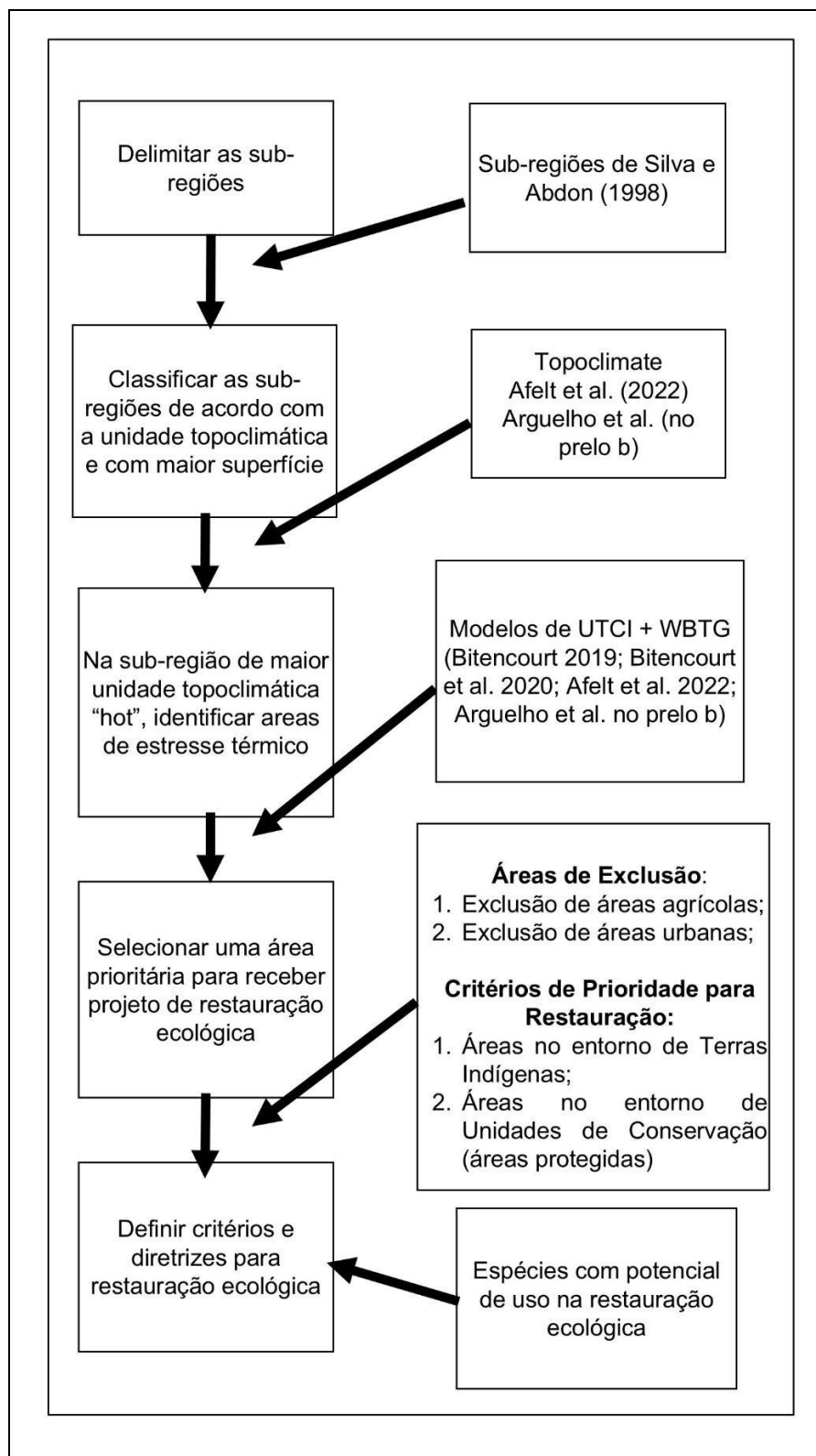


Figura 1. Procedimento metodológico para identificar áreas prioritárias para restauração ecológica no Pantanal brasileiro, considerando a intensificação das mudanças climáticas e seus impactos sobre a vegetação, o clima local e o bem-estar humano.

2.1 Área de estudo e delimitação das sub-regiões

O Pantanal brasileiro é uma das maiores áreas úmidas tropicais do mundo, com aproximadamente 139.000 km² (Silva & Abdon, 1998). É conhecido por sua rica biodiversidade e dinâmica ecossistêmica, influenciada por inundações sazonais e um mosaico de diferentes tipos de vegetação (Pott & Pott, 2004; Junk et al., 2006).

O Pantanal abriga uma vasta gama de espécies vegetais e animais, muitas delas endêmicas e não endêmicas, migratórias e não migratórias, significativas devido às suas grandes populações na região (de Pinho et al., 2017; Flora do Brasil 2020; Fauna do Brasil 2020). A biodiversidade inclui espécies de biomas vizinhos, como o Cerrado, a Floresta Amazônica e o Chaco (Prance & Schaller, 1982; Junk et al., 2006). A região é um habitat crítico para muitas espécies ameaçadas de extinção, incluindo onças-pintadas, tamanduás-bandeira e cervos-do-pantanal, e serve como área de reprodução para inúmeras aves aquáticas (Alho et al., 1997).

A hidrologia do Pantanal é caracterizada por inundações sazonais, que são um fator ecológico fundamental. O pulso de inundação varia interanualmente, influenciado por fatores climáticos como El Niño e La Niña, e é crucial para a manutenção da diversidade de habitats dentro da área úmida (Alho et al., 2012; Milien et al., 2013). Estudos utilizando imagens de satélite mapearam a extensão e os padrões sazonais de inundação, revelando significativa variabilidade espacial e temporal (Evans et al., 2010; Milien et al., 2012). O clima da região é Aw - tropical subúmido, com inverno seco e verão chuvoso; a precipitação média anual fica entre 1.000 e 1.500 mm na porção norte (Koeppen, 1948). A inundação é influenciada pelas chuvas locais, que ocorrem de janeiro a abril (Aranda, 2019). A interação entre as águas superficiais e subterrâneas é vital para a manutenção do equilíbrio hídrico e da integridade ecológica da área úmida. Dessa forma, a água subterrânea ajuda a

regular o lençol freático e sustenta o pulso de inundação sazonal (Schwerdtfeger et al., 2016).

A vegetação do Pantanal é uma mistura de brejo, mata de galeria, floresta semidecídua e diversas formas de cerrado e savana (Cunha et al., 2006). A flora da região é adaptada aos ciclos de chuva e seca, com espécies vegetais específicas prosperando em diferentes condições de inundação (Prance et al., 1982; Pott & Pott, 2004). A interação entre vegetação, hidrologia e geomorfologia sustenta a biodiversidade da área úmida (Evans et al., 2010).

Atividades humanas como desmatamento, agricultura, caça ilegal e poluição representam ameaças significativas ao Pantanal (Fig. 2; Tab. 1). O assoreamento dos rios, em particular o Taquari, alterou a hidrologia e impactou negativamente a flora e a fauna (Alho et al., 1997; Pott & Pott, 2004). Além disso, o uso de pesticidas nas áreas agrícolas vizinhas e a contaminação por mercúrio proveniente da mineração de ouro são grandes preocupações ambientais (Alho et al., 1997). De acordo com o Pacto pela Restauração do Pantanal (MUPAN, 2025), essas pressões antrópicas comprometem diretamente a funcionalidade ecológica da planície, alterando processos de recarga hídrica, dispersão de sementes, estabilidade térmica e manutenção de corredores ecológicos. A fragmentação da vegetação nativa e o uso inadequado do solo tornam o bioma mais vulnerável a eventos climáticos extremos e reduzem sua resiliência socioecológica.

O Pantanal é altamente vulnerável a mudanças na hidrologia induzidas por atividades humanas e mudanças climáticas globais. A instabilidade climática da região, caracterizada por secas e inundações severas, afeta a distribuição e a dinâmica populacional de muitas espécies (Junk et al., 2006; Alho et al., 2012). Estratégias de conservação e restauração devem se concentrar na manutenção da segurança hídrica e na mitigação dos impactos das mudanças climáticas para preservar os serviços ecossistêmicos do Pantanal (Bergier et al., 2018). Nesse sentido, o guia prático de restauração propõe abordagens integradas que conciliem o uso sustentável do território com ações de restauração ecológica, priorizando zonas úmidas degradadas, margens de rios e áreas com histórico de fogo ou conversão intensa do solo. São recomendadas ações como restauração hidrológica,

manejo de pastagem nativa, controle de espécies invasoras e revegetação com espécies adaptadas ao regime de inundação (MUPAN, 2025).

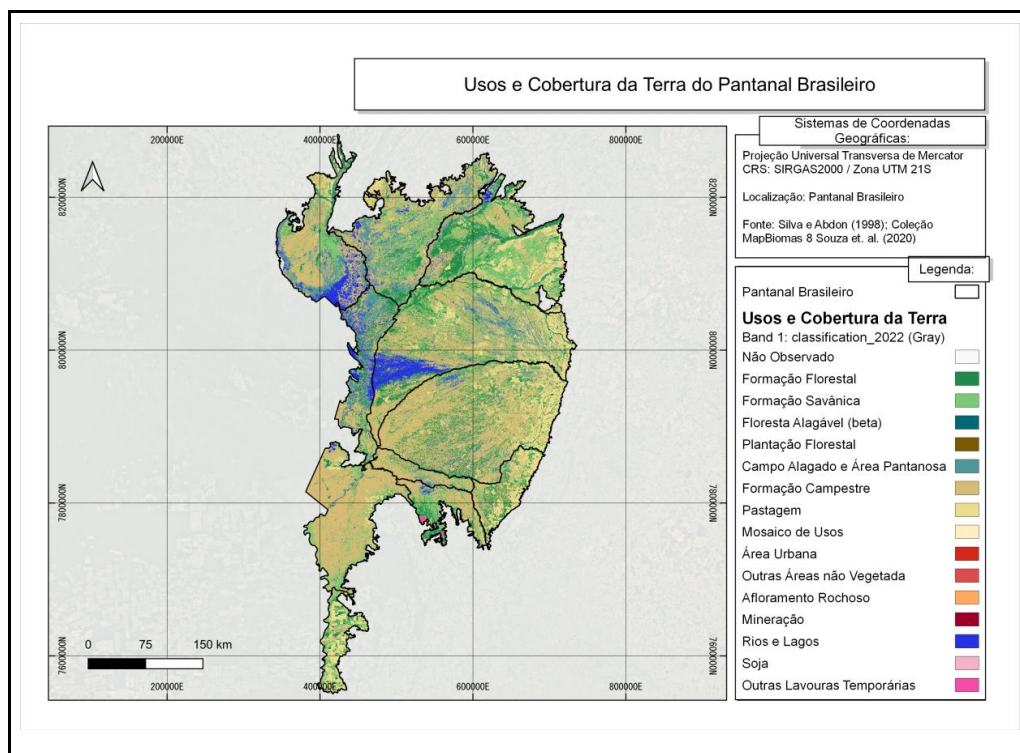


Figura 2. Uso e cobertura da terra do Pantanal brasileiro em 2022. Fonte: Silva e Abdon (1998) e Coleção Mapbiomas 8 (Souza et. al., 2020).

Tabela 1. Classes de uso e cobertura da terra do Pantanal brasileiro em 2022. Fonte: Coleção Mapbiomas 8 (Souza et. al., (2020).

Área km ²	Classes
138.183	<i>Pantanal total</i>
0,19	Não observado
19.408,56	Formação Florestal
21.759,51	Formação de Savana
0,63	Floresta Inundável
2,98	Plantação Florestal

12.340,35	Zona úmida
60.541,46	Pastagem
17.058,54	Pasto
132.74	Mosaico de Agricultura e Pastagens
4,11	Infraestrutura Urbana
3,32	Outra área não vegetada
0,13	Afloramento rochoso
3,55	Mineração
6.594,69	Rio e Lago
8.23	Soja
101.04	Mosaico de Culturas

A distribuição das categorias de uso e cobertura do solo no Pantanal revela que aproximadamente 29,79% da área é ocupada por formações naturais de vegetação (florestas e savanas), enquanto 13,70% correspondem a áreas úmidas, essenciais para a manutenção da biodiversidade e da dinâmica hidrológica da planície. As áreas antropizadas do Pantanal demonstram que a pastagem representa 43,81% da área total do bioma, enquanto o pasto, associado a manejos agrícolas, ocupa 12,34%. A agricultura, especialmente o cultivo de soja, já ocupa cerca de 5,96% da área, evidenciando a intensificação do uso agropecuário. Mosaicos de agricultura e pastagens, que indicam áreas com múltiplos usos, correspondem a 73,12% e 96,06% respectivamente (mas como mosaicos sobrepõem usos, não devemos somá-los diretamente para evitar distorções), sendo importantes indicadores da fragmentação da paisagem. Apesar de plantação florestal, mineração e infraestrutura urbana ocuparem menos de 3% do território pantaneiro, seus impactos locais são significativos, principalmente sobre ambientes úmidos e corredores ecológicos. A categoria "não observado" e as formações

rochosas representam valores residuais (<0,001%).

O Pantanal apresenta uma grande diversidade interna, muitas vezes sendo reconhecida como múltiplos pantanais. A divisão do Pantanal em sub-regiões, buscando capturar a homogeneidade em meio à diversidade, pode ser vista na classificação de Silva & Abdon (1998), que reconhece a existência de 11 sub-regiões (Abobral, Aquidauana, Barão de Melgaço, Cáceres, Miranda, Nabileque, Nhecolândia, Paiaguás, Paraguai, Poconé, e Porto Murtinho) (Figura 3). É essa a subdivisão adotada doravante para fins deste estudo.

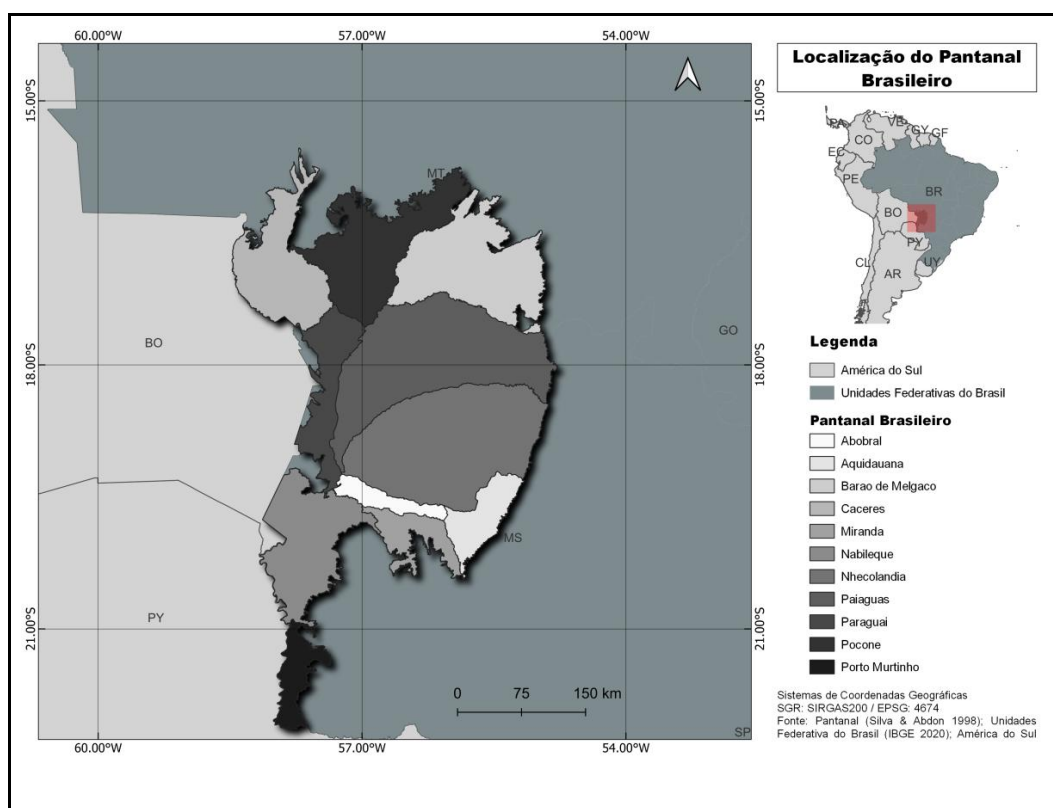


Figura 3. Área de estudo do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. Fonte: Silva e Abdon (1990); IBGE (2020).

2.2 Modelo topoclimático

2.2.1 Dados topoclimáticos e estresse térmico (UTCI) como ferramentas para priorização regional

a. *Seleção de áreas prioritárias*

Esta pesquisa foi conduzida em três etapas principais, integrando análises topoclimáticas e de estresse térmico humano com ferramentas de geoprocessamento para subsidiar a definição de áreas prioritárias para restauração ecológica no bioma Pantanal.

A tipologia topoclimática adotada neste estudo foi estruturada a partir da combinação de três variáveis ambientais principais: radiação solar incidente, radiação refletida pela superfície e condição térmica local (Afelt et al., 2022; Arguelho et al., no prelo). O código de cada grupo topoclimático é formado por três dígitos. O primeiro dígito representa o grau de entrada de radiação solar, podendo ser reduzida (1), média (2) ou elevada (3). O segundo dígito refere-se à quantidade de radiação refletida pela superfície, variando também entre reduzida (1), média (2) ou elevada (3). Já o terceiro dígito expressa a condição térmica predominante no microclima, categorizada como fresca (1), moderadamente quente (2) ou quente (3). Após, adiciona-se uma quarta dimensão, anemológica, para representar a influência dos ventos no ambiente, que pode ser tranquila (1), moderadamente ventoso (2) ou ventoso (3). Essa classificação permite identificar microclimas distintas com base em suas características físico-climáticas, fundamentais para a priorização de áreas de restauração ecológica com foco na adaptação térmica.

Inicialmente, para fins de priorização das sub-regiões do Pantanal, foi aplicada uma análise de topoclima para identificação das sub-regiões com condição térmica caracterizada como "hot".

1. Classificação dos Tipos Topoclimáticos nas Sub-regiões do Pantanal

Inicialmente, os dados raster topoclimáticos foram recortados por sub-região utilizando a camada vetorial Pantanal, baseada em Silva e Abdon (1998), utilizando a função *"recortar raster por camada de máscara"* do software QGIS. Em seguida,

cada raster foi convertido em um vetor utilizando a função "*Polygonize*". A partir desses vetores, foi realizada a associação com uma tabela CSV (Tab. 2) contendo a classificação dos tipos topoclimáticos (*hot*, *moderately warm* e *cool*), e o cálculo das áreas em quilômetros quadrados utilizando a função "*Geometry*" do QGIS.

Posteriormente, foram criados shapefiles separados para cada tipo topoclimático por sub-região, totalizando 33 arquivos vetoriais.

Tabela 2. Distribuição dos tipos topoclimáticos no Pantanal brasileiro de acordo com as condições térmicas. As unidades topoclimáticas são agrupadas em três categorias térmicas (*hot*, *moderately warm* e *cool*), com base em conjuntos de dados espaciais existentes (Afelt et al., 2022; Arguelho et al., no prelo).

Tipo de código (Afelt et al., 2022)	Área [%]	Km ²	Condições térmicas	
			no respectivo topoclima	Cor
3233	3,43	5246.065	hot topoclimate	vermelho
1131	1.17	1785.573	hot topoclimate	vermelho
3133	0,13	199.016	hot topoclimate	vermelho
2132	0,10	148.1067	hot topoclimate	vermelho
1331	0,01	14.22505	hot topoclimate	vermelho
2133	0,01	8.041161	hot topoclimate	vermelho
2233	0,01	7.98287	hot topoclimate	vermelho
1233	0,004	5.837154	hot topoclimate	vermelho
3132	0,004	5.517557	hot topoclimate	vermelho
1132	0,003	4.935651	hot topoclimate	vermelho
1333	0,003	4.471332	hot topoclimate	vermelho
1133	0,001	1.313561	hot topoclimate	vermelho
1332	0,001	0,986929	hot topoclimate	vermelho
2333	0,00001	0,00804	hot topoclimate	vermelho

2332	0,000004	0,00603	hot topoclimate	vermelho
2222	38,82	59364,56	moderately warm topoclimate	amarelo
1222	1,92	2940.782	moderately warm topoclimate	amarelo
3222	1,89	2896.108	moderately warm topoclimate	amarelo
1121	0,92	1401.606	moderately warm topoclimate	amarelo
3223	0,08	129.8003	moderately warm topoclimate	amarelo
2121	0,02	23.39686	moderately warm topoclimate	amarelo
2223	0,01	17.46121	moderately warm topoclimate	amarelo
3121	0,01	10.50748	moderately warm topoclimate	amarelo
1123	0,005	7.463275	moderately warm topoclimate	amarelo
1321	0,00014	0,208039	moderately warm topoclimate	amarelo
1323	0,00005	0,081407	moderately warm topoclimate	amarelo
1111	29,73	45471,27	cool topoclimate	verde
2112	5.20	7954.339	cool topoclimate	verde
2211	3,83	5860.623	cool topoclimate	verde
1213	3,68	5625,57	cool topoclimate	verde
2113	3.18	4855.966	cool topoclimate	verde
2213	2.08	3185.025	cool topoclimate	verde

1113	0,77	1182.142	cool topoclimate	verde
1211	0,73	1120.386	cool topoclimate	verde
3211	0,71	1090.984	cool topoclimate	verde
3113	0,56	853.0284	cool topoclimate	verde
2111	0,47	715.5156	cool topoclimate	verde
1112	0,23	345.9207	cool topoclimate	verde
3112	0,22	342.7629	cool topoclimate	verde
3111	0,07	113.916	cool topoclimate	verde
1313	0,00019	0,287436	cool topoclimate	verde
1311	0,00001	0,0201	cool topoclimate	verde

A Tabela 2 apresenta a distribuição dos tipos topoclimáticos identificados na região do Pantanal, classificados de acordo com suas condições térmicas médias, com base nos conjuntos de dados de Afelt et al., (2022) e Arguelho et al., (no prelo). Cada linha corresponde a um tipo topoclimático específico, identificado por seu código numérico e agrupado em três categorias térmicas:

- Topoclíma quente (*hot topoclimate*) – representado em vermelho, essas áreas apresentam os maiores níveis de exposição ao calor e são consideradas as mais vulneráveis ao estresse térmico e à degradação ambiental. São prioritárias para ações urgentes de restauração ecológica; dessa forma, são o foco principal deste estudo, pois representam zonas prioritárias para restauração ecológica com o objetivo de mitigar extremos de calor e promover o desenvolvimento de microclimas termicamente mais confortáveis (Gann et al., 2019; UNGA 2019; IPCC 2023).
- Topoclíma moderadamente quente (*moderately warm topoclimate*) – representado em amarelo, essas áreas têm níveis moderados de calor e exigem atenção para estratégias proativas de restauração e adaptação climática (Gann et al., 2019; UNGA 2019; IPCC 2023).

- Topoclima frio (*cool topoclimate*) – representadas em verde, essas zonas são as menos afetadas pelo estresse térmico. Embora não sejam zonas prioritárias, podem servir como refúgios climáticos e contribuir para a conectividade ecológica em aborgadens futuras (McGuire et al., 2016; Gallardo et al., 2017; Choe et al., 2020).

As colunas na tabela representam:

- Tipo: código da unidade topoclimática;
- Área [%]: a proporção que cada tipo representa em relação à área total do estudo;
- Km²: área ocupada por cada tipo, expressa em quilômetros quadrados;
- Condições térmicas: classificação térmica do respectivo topoclima;
- Cor: referência visual usada nos mapas.

b. *Seleção de sub-regiões importantes para restauração*

Dentre os shapefiles gerados, foram selecionados aqueles classificados como "quentes" (*hot topoclimate*). Cada sub-região foi processada usando a ferramenta 'Dissolver' para unificar polígonos contíguos com as mesmas características. Após essa etapa, um *buffer* de 31 metros foi aplicado para expansão espacial das áreas e, em seguida, um *buffer* negativo de -31 metros para remover ruído de borda.

As geometrias multipartes foram convertidas em geometrias simples ('*multipartes to singlepartes*') e as áreas foram recalculadas. Com base nessas áreas, foi realizada uma classificação logarítmica dos polígonos resultantes, priorizando as classes mais altas ($>10^6+$, 10^7+ e 10^8+) como áreas críticas para restauração ecológica.

c. *Aplicação da Árvore de Decisão com Critérios Socioambientais*

Na terceira etapa, uma árvore de decisão foi utilizada para filtrar as áreas críticas previamente selecionadas, considerando critérios territoriais e de uso do solo.

Foram excluídas da seleção final as áreas “quentes” onde foi detectada a presença, através dos dados da Coleção 8 do MapBiomias 2022, de:

1. Grandes fazendas;
2. Agricultura extensiva (especialmente monoculturas em grande escala);
3. Áreas urbanizadas.

Foi dada prioridade às áreas críticas que:

1. Coincidissem com territórios indígenas (TIs),
2. Estão incluídas em unidades de conservação da natureza (Ucs) ou outros tipos de áreas protegidas.

Esta etapa fortaleceu a tomada de decisões baseadas não apenas em critérios climáticos, mas também em aspectos sociais, culturais e ecológicos, contribuindo para uma restauração mais justa e integrada ao contexto territorial.

d. *Classificação do estresse térmico com UTCI+WBGT*

A etapa final concentrou-se na análise do estresse térmico humano, com base em seis cenários aplicados especificamente à sub-região do Pantanal (Afelt et al., 2022; Arguelho et al., no prelo). Os dados foram inicialmente processados no formato raster e recortados para os limites geográficos do município de Miranda-MS.

Cada raster foi convertido para o formato vetorial utilizando a ferramenta ‘*polygonize*’ (*Raster to Vector*) no *software* QGIS, resultando em camadas vetoriais individuais por cenário, com o objetivo de facilitar a aplicação de simbologias temáticas e análises espaciais.

A classificação dos valores de UTCI+WBGT foi realizada diretamente com base nas categorias de estresse térmico humano atribuídas previamente no campo "THERMAL_ST" da tabela de atributos, conforme a padronização proposta por Matzarakis & Mayer (1996). Cada feição vetorial foi associada a uma das seguintes categorias: "*strong heat stress*", "*very strong heat stress*" e "*extreme heat stress*", permitindo a aplicação de simbologia categorizada no QGIS e a representação espacial clara das áreas com diferentes níveis de estresse térmico.

Para cada feição classificada, a área em quilômetros quadrados (km²) foi calculada utilizando a expressão *area(\$geometry) / 1.000.000*, aplicada por meio da

Calculadora de Campo (*Field Calculator*) do QGIS. Essa etapa possibilitou a quantificação da extensão territorial correspondente a cada classe térmica.

A seleção das feições pertencentes a cada faixa de estresse foi realizada com a ferramenta *'Select Features by Expression'*, utilizando expressões lógicas baseadas no campo categórico "THERMAL_ST". As expressões aplicadas asseguraram limites mutuamente exclusivos entre as categorias, conforme ilustrado na Tabela 3. A seguir, a função estatística da Tabela de Atributos foi utilizada para somar a área total correspondente a cada categoria de estresse térmico.

Tabela 3. Classificação do estresse térmico (adaptado de Matzarakis & Mayer, 1996) e expressões utilizadas no QGIS para seleção das feições.

Faixa UTCI (°C)	Categoria	Expressão QGIS
acima de +46	Estresse térmico extremo (calor)	"THERMAL_ST" = 'extreme heat stress'
+38 a +46	Estresse térmico muito forte (calor)	"THERMAL_ST" = 'very strong heat stress'
+32 a +38	Estresse térmico forte (calor)	"THERMAL_ST" = 'strong heat stress'
+26 a +32	Estresse térmico moderado (calor)	"THERMAL_ST" = 'moderate heat stress'
+9 a +26	Sem estresse térmico	"THERMAL_ST" = 'no thermal stress'

Nota: o campo "THERMAL_ST" refere-se à coluna que armazena a classificação categórica do índice UTCI na tabela de atributos.

2.2.2 Análise estatística dos cenários térmicos

Com o objetivo de comparar a distribuição espacial das áreas submetidas a diferentes classes de estresse térmico ao longo dos cenários presentes (A, B, C e D) e futuros (E e F), foram realizadas análises estatísticas não paramétricas com base

nas áreas em km² da região focal para a restauração. Inicialmente, os dados foram organizados em uma planilha no formato longo (*long format*), contendo as categorias de estresse térmico (*extreme*, *very strong*, *strong* e *moderate*), os cenários de modelagem (A a F) e os seus respectivos valores de área em km².

Para avaliar se as diferenças observadas entre os cenários presentes e futuros eram estatisticamente significativas, foram aplicados testes de Wilcoxon-Mann-Whitney, devido ao número reduzido de observações por cenário ($n = 1$ por combinação de categoria e cenário), o que inviabiliza o uso de testes paramétricos convencionais.

As comparações foram realizadas de forma par a par, contrastando cada cenário presente com os cenários futuros, totalizando oito combinações por categoria (por exemplo: A×E, B×F, etc.). Os testes foram conduzidos na linguagem R (versão 4.4.2) por meio do pacote *tidyverse* para manipulação de dados e da função *wilcox.test()* para os testes estatísticos (ver script Apêndice C e tabela Apêndice F). Os valores de p foram considerados com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

5. Seleção Indicativa de Espécies Nativas para Restauração Ecológica

Para subsidiar o planejamento de ações de restauração em áreas priorizadas, foi realizado um levantamento preliminar de espécies vegetais nativas com base em critérios ecológicos, geográficos e funcionais. A pesquisa foi realizada utilizando dois bancos de dados especializados e confiáveis:

- Flora e Fungos do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>) (Apêndice A): plataforma online mantida pelo Jardim Botânico do Rio de Janeiro, que fornece informações taxonômicas atualizadas e a distribuição geográfica da flora brasileira. A seleção concentrou-se em espécies nativas do Brasil, com ênfase naquelas que ocorrem ou são endêmicas do bioma Pantanal e adaptadas às condições topoclimáticas locais.
- WebAmbiente (<https://www.webambiente.cnptia.embrapa.br/publico/especies.xhtml>) (Apêndice B): plataforma desenvolvida pela Embrapa Meio Ambiente que

inclui características ecológicas e a adequação de espécies nativas para restauração ambiental.

A filtragem foi baseada no bioma Pantanal, e foram cruzadas informações sobre fenologia, mecanismos de dispersão e potenciais usos para fins de restauração (por exemplo, grupo sucessional e atração de fauna).

Foram considerados apenas nomes aceitos de espécies, foram excluídas subespécies e variedades, sinônimos, espécies não vasculares e registros duplicados. Além disso, a seleção considerou os seguintes aspectos funcionais, com base em evidências já descritas na literatura:

- Grupo sucessional;
- Potencial de uso etnobotânico;
- Mecanismos de polinização e dispersão de sementes.

Esta etapa resultou em uma lista inicial de espécies recomendadas para restauração ecológica, alinhada à vulnerabilidade climática e ao contexto ecológico da área de estudo. A lista poderá ser posteriormente refinada por meio da participação de partes interessadas locais e futura validação em campo.

5.1. Critérios de Seleção de Espécies Prioritárias para Restauração Ecológica na Área Focal

A seleção de espécies vegetais nativas com potencial para compor ações de restauração ecológica no bioma Pantanal foi conduzida a partir de critérios ecológicos e conservacionistas obtidos da literatura e presentes no Apêndice D e E. O objetivo do processo foi identificar espécies que, além de apresentarem atributos estratégicos para a restauração, tivessem dados completos e confiáveis nas fontes de referência consultadas (pelo menos em gênero). A seleção foi conduzida em três etapas sequenciais:

1. Remoção de Registros com Informações Incompletas

Inicialmente, todos os registros com campos apresentando a marcação S/I (sem informação) em qualquer uma das colunas foram excluídos da seleção. Essa

etapa assegurou que apenas espécies com informações completas e verificáveis fossem consideradas para os critérios subsequentes, evitando a seleção de espécies com dados ausentes ou incertos.

2. Filtro por Estratégia de Dispersão: Zoocoria

Na etapa seguinte, foi aplicada uma filtragem com base na estratégia de dispersão. Foram selecionadas apenas as espécies que apresentavam zoocoria como forma de dispersão principal, ou em associação com outros tipos de dispersão (por exemplo, zoocoria/anemocoria). Essa escolha fundamenta-se no papel ecológico dessas espécies na facilitação da regeneração natural, promoção da conectividade ecológica e atração de fauna, elementos essenciais em paisagens em processo de restauração (Pilon & Durigan, 2013).

3. Filtro por Categoria nas Listas Vermelhas (CNCFlora e IUCN)

Por fim, foram mantidas (i) espécies que tenham riscos semelhantes nas listas vermelhas da CNCFlora (nível nacional) e da IUCN (nível global), gerando uma lista separada; (ii) após, outro filtro mantendo as espécies selecionadas apresentavam categoria de avaliação em uma das listas CNCFlora ou IUCN (Apêndice F), variando desde LC (Pouco Preocupante) até CR (Criticamente em Perigo). Espécies classificadas como NE (Não Avaliada), DD (Dados Insuficientes) ou com dados ausentes (S/I) foram automaticamente excluídas da seleção. Esse critério visou assegurar que todas as espécies selecionadas tivessem sido formalmente avaliadas em pelo menos uma lista de risco, contribuindo para fortalecer as ações de restauração aliadas à conservação da biodiversidade.

3. RESULTADOS

3.1 Distribuição das Condições Topoclimáticas

A análise espacial revelou heterogeneidade nas condições térmicas em todo o Pantanal brasileiro. Entre os 46 tipos topoclimáticos identificados (Tabela 2), três

principais categorias térmicas foram classificadas: topoclimas quente, moderadamente quente e fresco. A maior parte do bioma é dominada por topoclimas moderadamente quentes, representando 44,67% da área total (~66.120 km²), seguidos por topoclimas frescos (48,67%, ~72.147 km²). Embora os topoclimas quentes ocupem uma porção menor (6,65%, ~9.420 km²), eles representam áreas críticas devido à sua elevada exposição a temperaturas extremas e ao estresse térmico humano.

3.2 Identificação de Sub-regiões Prioritárias para Restauração Ecológica

A análise refinada, com foco exclusivo em áreas topoclimáticas quentes com classe logarítmica $\geq 10^6$, resultou em um total de 213,08 km² distribuídos em nove sub-regiões (Abrobral e Nhecolândia apresentaram $\text{class_log} < 10^6$, sendo excluídas desta análise) (Fig. 2). Essas áreas representam zonas de exposição crítica a condições térmicas extremas e, portanto, são prioridades para intervenções de restauração ecológica.

> Sub-regiões de maior prioridade

Miranda (Fig. 4c) se destaca pela maior extensão de topoclima quente, totalizando ~102,94 km², quase 48% da área total nesta classe térmica. A predominância de valores elevados nas faixas de $\log 10^7$ e 10^8 indica que esta região apresenta algumas das exposições térmicas mais extremas. Cáceres (Fig. 4b) (17,27 km²) e Barão de Melgaço (Fig. 4a) (17,39 km²) são as segundas mais proeminentes.

Paraguai (Fig. 4d) (22,55 km²), embora dividido em múltiplos polígonos, também concentra uma área considerável de estresse térmico.

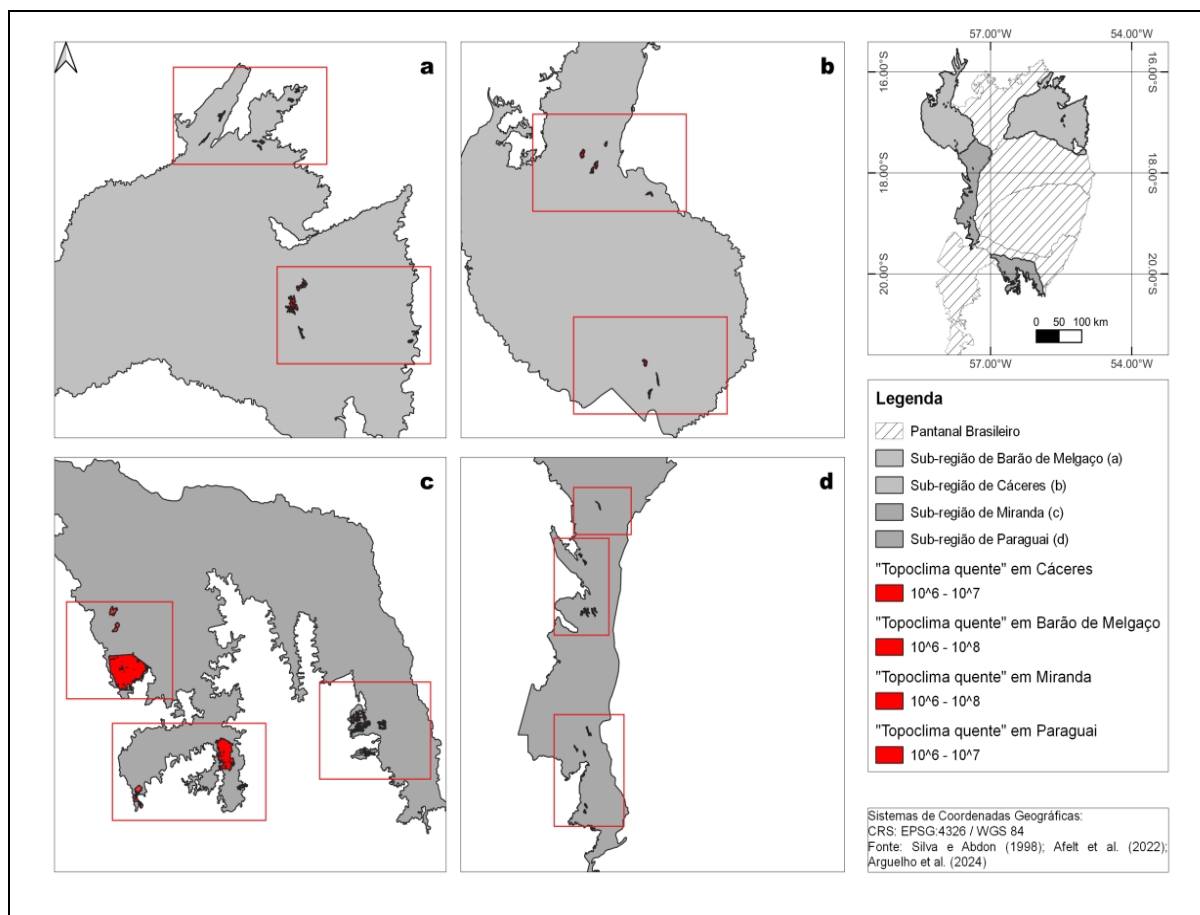


Figura 4. Sub-regiões prioritárias de restauração com maior área de “topoclimate quente” (vermelho) no Pantanal. Miranda (c) apresenta a maior extensão contínua, seguida por Cáceres (b), Barão de Melgaço (a) e Paraguai (d).

➤ Sub-regiões de prioridade moderada

Porto Murtinho (Fig. 5d) (13,16 km²), Nabileque (Fig. 5b) (13,72 km²) e Aquidauana (Fig. 5a) (12,91 km²) apresentam zonas quentes de médio porte, fragmentadas, mas ainda significativas. Poconé (Fig. 5c) (11,75 km²) também apresenta estresse térmico distribuído no seu território.

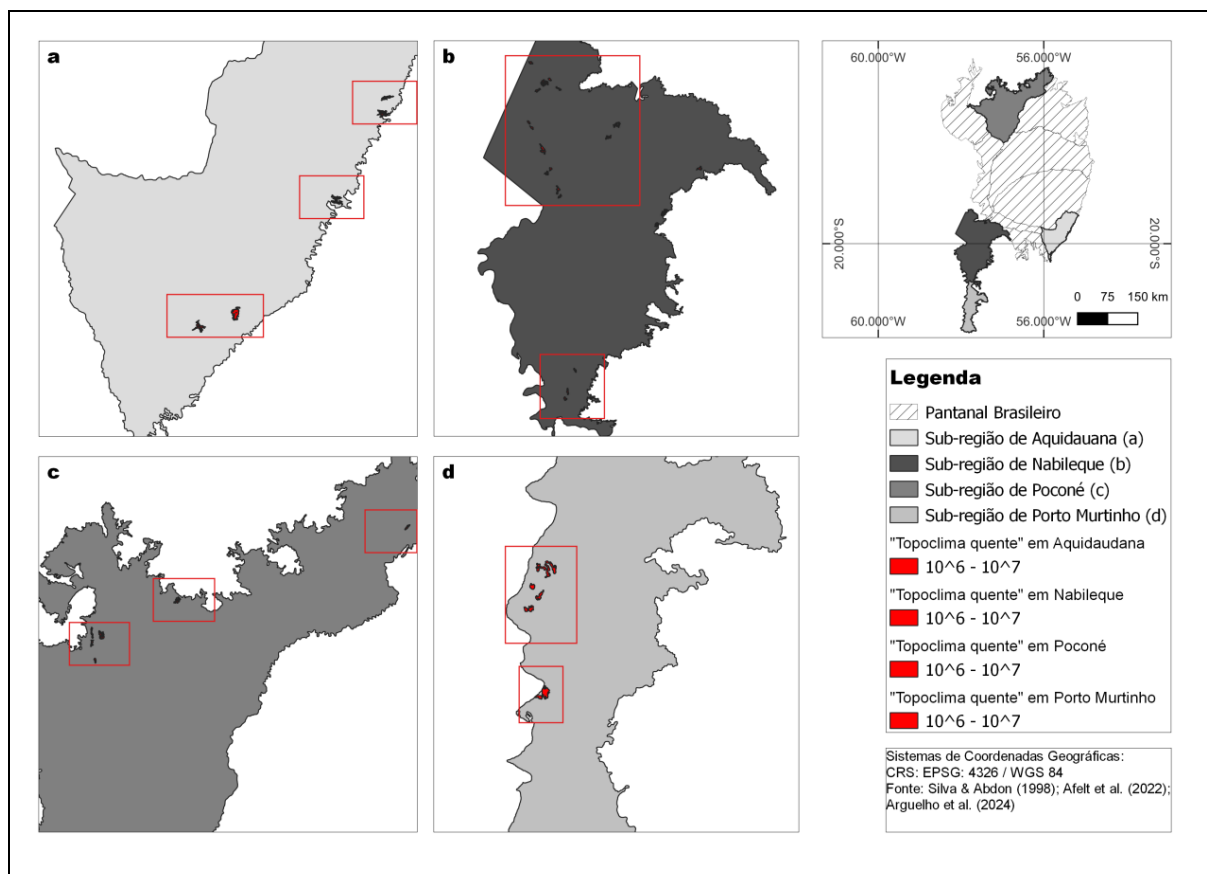


Figura 5. Sub-regiões com prioridade moderada para restauração ecológica. Áreas quentes fragmentadas em Porto Murtinho, Nabileque, Aquidauana e Poconé indicam potencial para recuperação.

Esta análise aprimora a priorização espacial para a restauração ecológica ao excluir áreas de baixa relevância e concentrar-se naquelas com maior exposição ao estresse térmico. Entre os hotspots identificados (Miranda, Cáceres, Barão de Melgaço e Paraguai), a sub-região de Miranda se destaca por apresentar a maior área aglomerada de "topoclima quente" (Tab. 4, Fig. 6), sendo, portanto, o foco principal deste trabalho para a implementação de ações estratégicas de restauração.

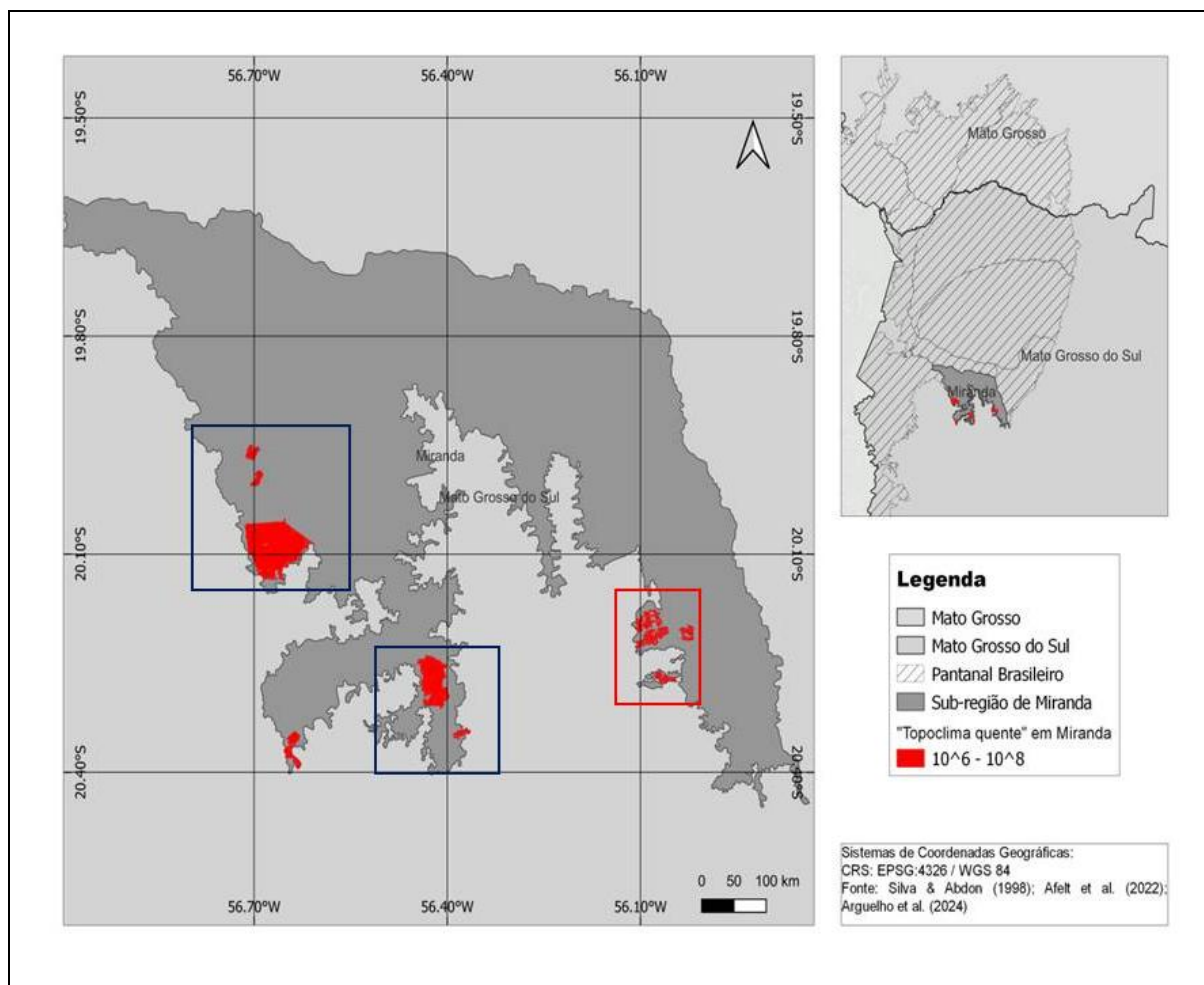


Figura 6. Mapa da sub-região de Miranda destacando as áreas contínuas de “topoclima quente” (vermelho). As áreas em vermelho indicam zonas com valores elevados de estresse térmico ($10^6 - 10^8$), representando os locais mais críticos em termos de desconforto térmico humano. O retângulo vermelho delimita a área escolhida para o estudo detalhado de priorização de restauração ecológica. Os quadrados azuis destacam as áreas com alto estresse térmico, contudo, em áreas agrícolas.

Tabela 4. Área total (em km²) do “topoclima quente” (hot topoclimate) com valores de classe logarítmica igual ou superiores a 10^6 , agrupadas por sub-região do bioma Pantanal.

Área [%]	Km²	limite de class_log	Sub-região
1,17	1,29	10 ⁶ - 10 ⁷	Aquidauana
1,17	2,22	10 ⁶ - 10 ⁷	Aquidauana
1,17	1,30	10 ⁶ - 10 ⁷	Aquidauana
1,17	1,20	10 ⁶ - 10 ⁷	Aquidauana
1,17	4,17	10 ⁶ - 10 ⁷	Aquidauana
1,17	2,70	10 ⁶ - 10 ⁷	Aquidauana
7,02	12,91		Total
1	17,38	10 ⁷ +	Barão de Melgaço
1,17	1,72	10 ⁶ - 10 ⁷	Cáceres
1,17	1,83	10 ⁶ - 10 ⁷	Cáceres
1,17	2,07	10 ⁶ - 10 ⁷	Cáceres
1,17	2,85	10 ⁶ - 10 ⁷	Cáceres
1,17	1,21	10 ⁶ - 10 ⁷	Cáceres
1,17	2,62	10 ⁶ - 10 ⁷	Cáceres
1,17	1,61	10 ⁶ - 10 ⁷	Cáceres
1,17	3,33	10 ⁶ - 10 ⁷	Cáceres
9,36	17,26		Total
1,17	1,82	10 ⁶ - 10 ⁷	Miranda
1,17	1,74	10 ⁶ - 10 ⁷	Miranda
1,17	3,96	10 ⁶ - 10 ⁷	Miranda
1,17	3,49	10 ⁶ - 10 ⁷	Miranda
1,17	1,20	10 ⁶ - 10 ⁷	Miranda
1,17	23,80	10 ⁷ - 10 ⁸	Miranda
1,17	57,55	10 ⁷ - 10 ⁸	Miranda

1,17	4,95	10 ⁶ - 10 ⁷	Miranda
1,17	1,89	10 ⁶ - 10 ⁷	Miranda
1,17	2,50	10 ⁶ - 10 ⁷	Miranda
11,7	102,94		Total
1,17	13,72	10 ⁷ +	Nabileque
1,17	1,28	10 ⁶ - 10 ⁷	Paiguas
0,13	1,55	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	1,28	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	2,23	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	2,71	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	4,42	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	1,33	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	1,91	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	1,21	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	1,39	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	1,61	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	1,53	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
0,13	1,31	10 ⁶ - 10 ⁷	Paraguay
1,56	22,54		Total
3,43	1,39	10 ⁶ - 10 ⁷	Poconé
3,43	2,08	10 ⁶ - 10 ⁷	Poconé
3,43	4,11	10 ⁶ - 10 ⁷	Poconé
3,43	1,07	10 ⁶ - 10 ⁷	Poconé
3,43	1,16	10 ⁶ - 10 ⁷	Poconé
3,43	1,91	10 ⁶ - 10 ⁷	Poconé

20,58	11,74		Total
1,17	1,91	10 ⁶ - 10 ⁷	Porto Murtinho
1,17	3,28	10 ⁶ - 10 ⁷	Porto Murtinho
1,17	3,92	10 ⁶ - 10 ⁷	Porto Murtinho
1,17	1,34	10 ⁶ - 10 ⁷	Porto Murtinho
1,17	1,01	10 ⁶ - 10 ⁷	Porto Murtinho
1,17	1,67	10 ⁶ - 10 ⁷	Porto Murtinho
7.02	13,15		Total
60.58*	212,96		Total geral

*Nota: As sub-regiões Nhecolândia e Abobral foram excluídas desta tabela porque as áreas topoclimáticas quentes encontradas nessas zonas estavam predominantemente na classe logarítmica <10⁶, o que está fora do limite adotado neste estudo. Embora indicadores de estresse térmico estejam presentes nessas áreas, os fragmentos afetados foram considerados muito pequenos ou muito dispersos para atender aos critérios de zonas críticas de restauração, conforme definido por esta abordagem de priorização espacial.

Com base na análise de tipos topoclimáticos selecionados e priorizados para restauração ecológica no Pantanal, três categorias climáticas distintas se destacam devido à sua cobertura de área, participação proporcional média e características específicas de energia térmica.

O Tipo 1131 ocupa uma área total de aproximadamente 178,67 km², com uma participação média de 1,16% nas zonas topoclimáticas selecionadas. Este grupo é caracterizado por menor aporte de radiação solar em relação à superfície e menor radiação refletida em comparação com as condições superficiais padrão. Essas áreas normalmente indicam regiões com cobertura vegetal ou condições de terreno que modulam naturalmente o aporte térmico. Dada sua ampla distribuição e sensibilidade térmica, essas zonas são especialmente relevantes para esforços de restauração que visem aprimorar os processos locais de resfriamento e a resiliência climática.

O Tipo 3133 cobre cerca de 22,55 km² e apresenta uma participação média de 0,13%. É definido pelo aumento da radiação solar incidente, combinado com uma capacidade reduzida de refletir essa energia. Essas condições frequentemente resultam em retenção significativa de calor na superfície, aumentando o desconforto térmico tanto para a biodiversidade quanto para as populações humanas. Este tipo é particularmente vulnerável devido ao seu baixo albedo e deve ser priorizado em regiões onde mudanças no uso do solo ou degradação da vegetação alteraram o balanço energético natural.

O Tipo 3233 abrange cerca de 11,75 km² com uma participação média de 3,43%. Representa áreas com maior radiação solar incidente e níveis médios de radiação refletida. Embora a capacidade de refletir calor seja maior do que no Tipo 3133, a elevada entrada solar ainda leva ao acúmulo de calor. Essas áreas são frequentemente expostas a condições térmicas intensas e se beneficiam de intervenções ecológicas que visam aumentar a cobertura vegetal e reduzir os efeitos localizados de ilhas de calor. Sua presença em diversas sub-regiões destaca a importância de integrá-las a estratégias mais amplas de restauração da paisagem.

Tabela 5. Código de cada unidade topoclimática (Afelt et al., 2022), a área total ocupada (em km²), a participação média de cada tipo na área analisada (%) e uma descrição das características distintas do balanço energético de cada grupo. Essas classificações refletem diferenças na entrada e na refletância da radiação solar, que afetam diretamente o estresse térmico e a regulação do microclima. *

Tipo de código	Total Km²	Média Compartilhamento [%]	Grupos topoclimáticos distintos (Afelt et al., 2022)
1131	178,67	1,16	Topoclimas com entrada de radiação solar reduzida (em relação à superfície) e radiação refletida reduzida (em relação à superfície padrão)
3133	22,54	0,13	Topoclimas com aumento da radiação solar incidente e redução do valor da

			radiação refletida
3233	11,74	3,43	Topoclimas com aumento da radiação solar incidente e da radiação média refletida

*Nota: As sub-regiões Abobral e Nhecolândia foram excluídas da análise devido à sua menor relevância espacial (classe logarítmica $< 10^6$).

Sendo assim, a sub-região de Miranda foi selecionada para investigação como foco de ações prioritárias de restauração.

3.3 Árvore de decisão: escolha local

Com base nos critérios estabelecidos na etapa final da metodologia (a aplicação de uma árvore de decisão com filtros socioambientais), foi possível refinar a seleção de áreas críticas para restauração ecológica, priorizando não apenas aspectos topoclimáticos, mas também dimensões locais, conforme Figura 1. Essa decisão foi fundamentada no fato de Miranda conter uma extensa área classificada como topoclima quente, atendendo ao critério limite de classe logarítmica $\geq 10^6$ km².

A área prioritária selecionada para restauração ecológica na sub-região de Miranda inclui quatro polígonos de topoclima quente tipo 1131, todos classificados nas classes logarítmicas de 10^6 – 10^7 e 10^7 – 10^8 km² (Fig. 7; Tab. 6). Essas áreas totalizam 11,01 km² e representam 4,68% das zonas quentes analisadas na região. Caracterizado pela redução da radiação solar incidente e refletida, esse tipo topoclimático é altamente vulnerável ao estresse térmico e possui potencial significativo para a criação de microclimas termicamente confortáveis por meio da restauração ecológica.

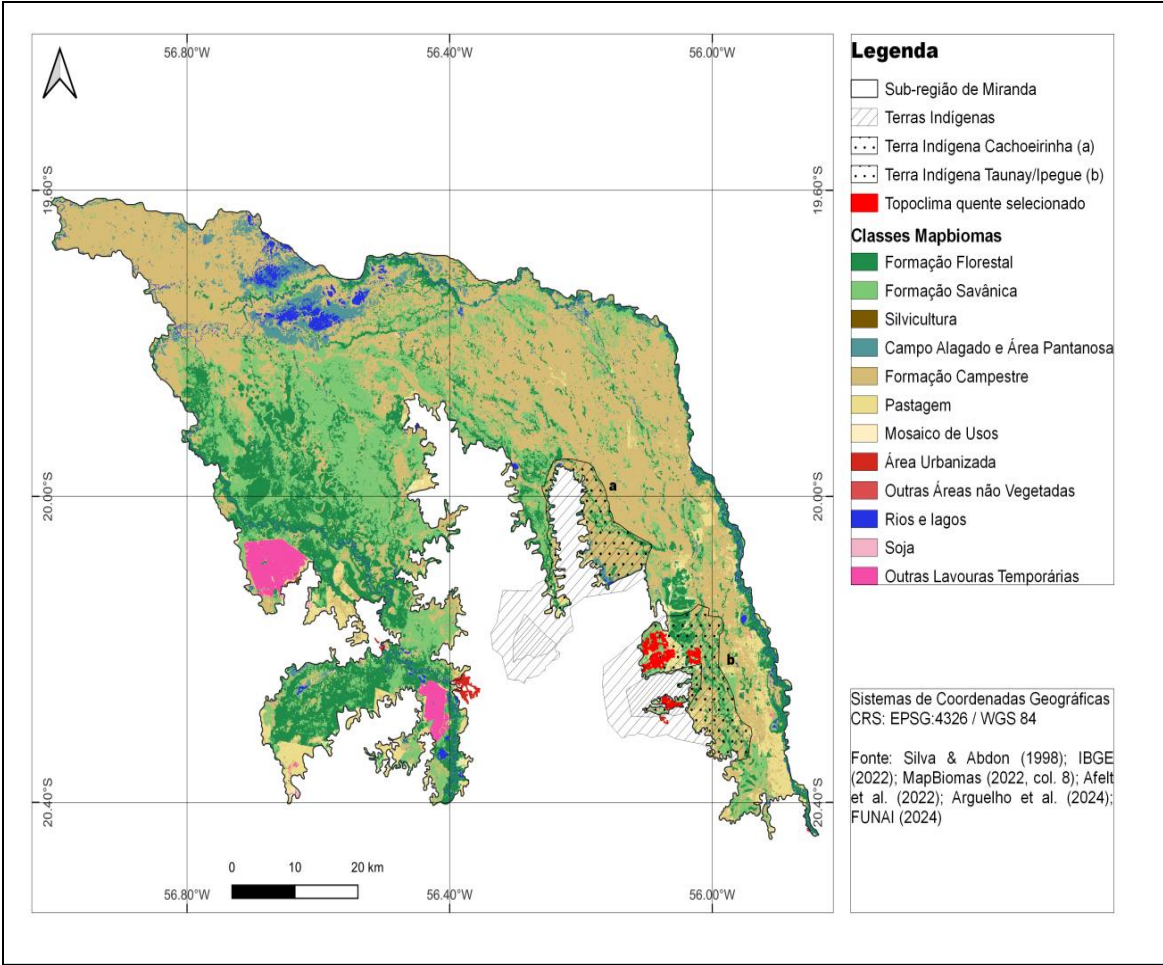


Figura 7. Mapa da sub-região de Miranda (MS) com destaque para as Terras Indígenas Cachoeirinha e Taunay/Ipegue, sobreposto à classificação de uso e cobertura da terra segundo o MapBiomas (Coleção 8.0, ano base 2022) e às áreas com topoclima quente selecionado. As Terras Indígenas são representadas com padrões diferenciados, e as áreas pontilhadas dentro dessas terras indicam os polígonos foco para ações prioritárias de restauração ecológica, localizados em zonas de maior estresse térmico.

Tabela 6. Polígonos topoclimáticos quentes selecionados (tipo 1131) na sub-região de Miranda, todos dentro da classe de 10^6 – 10^7 km².

Tipo de código	[%]	km ²	class_log
----------------	-----	-----------------	-----------

1131	1,17	1,82	10 ⁶ - 10 ⁷
1131	1,17	1,74	10 ⁶ - 10 ⁷
1131	1,17	3,96	10 ⁶ - 10 ⁷
1131	1,17	3,49	10 ⁶ - 10 ⁷
Total	4,68	11,01	

Nota: Os demais polígonos log 10⁷ – 10⁸ estavam em áreas não prioritárias de escolhas para restauração, seguindo o critério da Árvore de Decisão.

Geograficamente, a área selecionada está localizada dentro da Terra Indígena Taunay/Ipegue (Fig. 7b) e a aproximadamente 10 km da Terra Indígena Cachoeirinha (Fig. 7a) – Mato Grosso do Sul, que também é aconselhado a realização de projetos de restauração em decorrência dessa proximidade (Tab. 7; Fig. 7).

Tabela 7. Áreas totais (km²) das Terras Indígenas localizadas nos municípios de Miranda e Aquidauana, MS, consideradas na análise espacial como área focal para futuras restaurações ecológicas.

Terra Indígena	Município	Área Focal (km²)	Área (km²) Pantanal	Status
Cachoeirinha	Miranda	136,02	362,67	Declarada
Cachoeirinha	Miranda	0	26,32	Regularizada
Taunay/Ipegue	Aquidauana	20,33	64,69	Regularizada
Taunay/Ipegue	Aquidauana	194,91	339,0	Declarada
Total		351,26 km²	792,68 km²	

Com base na análise da cobertura e uso da terra nas áreas focais de restauração (Fig. 7; Tab. 8), observou-se que as classes de vegetação predominantes em ambas as Terras Indígenas (Cachoeirinha e Taunay/Ipegue) são a Formação Savânica e a Formação Campestre, seguidas por componentes relevantes como Formação Florestal, Pastagem e Mosaico de Usos. Na área focal da TI Cachoeirinha, a Formação Savânica representa 48,02% das feições, enquanto a Formação Campestre e a Formação Florestal somam 29,65%, indicando uma paisagem heterogênea com predomínio de formações abertas. Já em Taunay/Ipegue, embora a Formação Savânica também se destaque (33,03%), há uma maior contribuição de Formação Campestre (23,47%) e Pastagem (13,28%), sugerindo uma maior ocupação antrópica. Um ponto em destaque é a baixa presença de rios e lagos nas áreas focais (1,09% em Cachoeirinha e 0,11% em Taunay/Ipegue).

Tabela 8. Distribuição percentual da cobertura e uso da terra nas áreas focais para restauração ecológica localizadas nas Terras Indígenas Cachoeirinha e Taunay/Ipegue, e a sub-região de Miranda-MS. As classes de vegetação estão baseadas na legenda temática do MapBiomas (coleção 8, ano 2022). A coluna “%” representa a proporção de feições por classe em relação ao total de células analisadas em cada área focal.

Localização	Classes	Nomenclatura	Quantidade de células na matriz	%
Área Focal para Restauração Cachoeirinha				
	0	Sem informação	4	0,17*
	3	Formação Florestal	325	13,57
	4	Formação Savânica	1150	48,02
	11	Campo Alagado e Área Pantanosa	140	5,85
	12	Formação Campestre	385	16,08
	15	Pastagem	149	8,68
	21	Mosaico de Usos	208	8,68
	25	Áreas não Vegetada	1	0,04
	33	Rios e Lagos	26	1,09
	39	Soja	7	0,29
Total			2395	
Área Focal para Restauração Taunay/Ipegue				
	0	Sem informação	4	0,11*
	3	Formação Florestal	433	12,03
	4	Formação Savânica	1189	33,03
	11	Campo Alagado e Área Pantanosa	212	5,89
	12	Formação Campestre	845	23,47
	15	Pastagem	478	13,28
	21	Mosaico de Usos	409	11,36

25	Áreas não Vegetada	15	0,42
33	Rios e Lagos	4	0,11
39	Soja	2	0,06
41	Outras Lavouras Temporárias	9	0,25
Total		3600	
Miranda			
0	Sem informação	5	0,01*
3	Formação Florestal	13100	26,46
4	Formação Savânica	6505	13,14
9	Plantação de Floresta	8	0,02
11	Campo Alagado e Área Pantanosa	5822	11,76
12	Formação Campestre	16080	32,48
15	Pastagem	3555	7,18
21	Mosaico de Usos	1880	3,80
24	Área Urbana	5	0,01
25	Áreas não Vegetada	28	0,06
33	Rios e Lagos	2036	4,11
39	Soja	71	0,14
41	Outras Lavouras Temporárias	406	0,82
Total		49501	

Nota: *A classe "0 – Sem informação" não está presente na legenda oficial da Coleção 8 do MapBiomias. Contudo, aparece registrada na tabela de atributos do arquivo vetorial analisado, podendo influenciar levemente os totais e as proporções percentuais apresentadas nas áreas focais.

3.4 Distribuição das condições UTCI+WBGT

Foram analisados seis cenários para a sub-região de Miranda (A-D com escala temporal de 2006-2019, sendo chamado aqui de ‘presente’; E-F com escala temporal projetada para 2080-2090, sendo chamado aqui de ‘futuro’). No cenário A, que representa condições históricas críticas, a maior parte da área foco está sob estresse térmico muito forte (98,45%), com destaque para 26,7% da área submetida ao nível extremo (Fig. 8). A distribuição indica coerência espacial dos extremos térmicos, mas com concentração elevada de calor em regiões específicas.

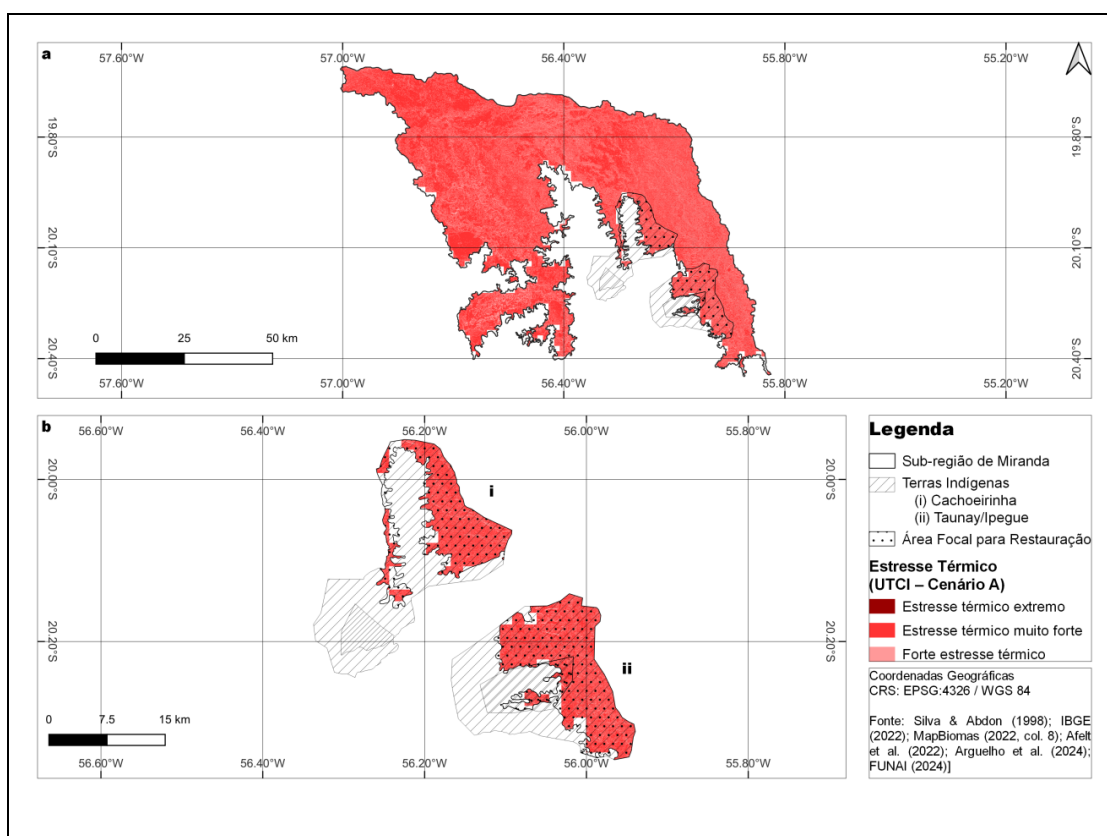


Figura 8. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI A. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.

No cenário B, que simula condições meteorológicas historicamente extremas com ventos mínimos, a categoria muito forte permanece dominante (98,61%) na área foco, reforçando o agravamento das condições térmicas em situações de calor extremo e baixa ventilação (Fig. 9).

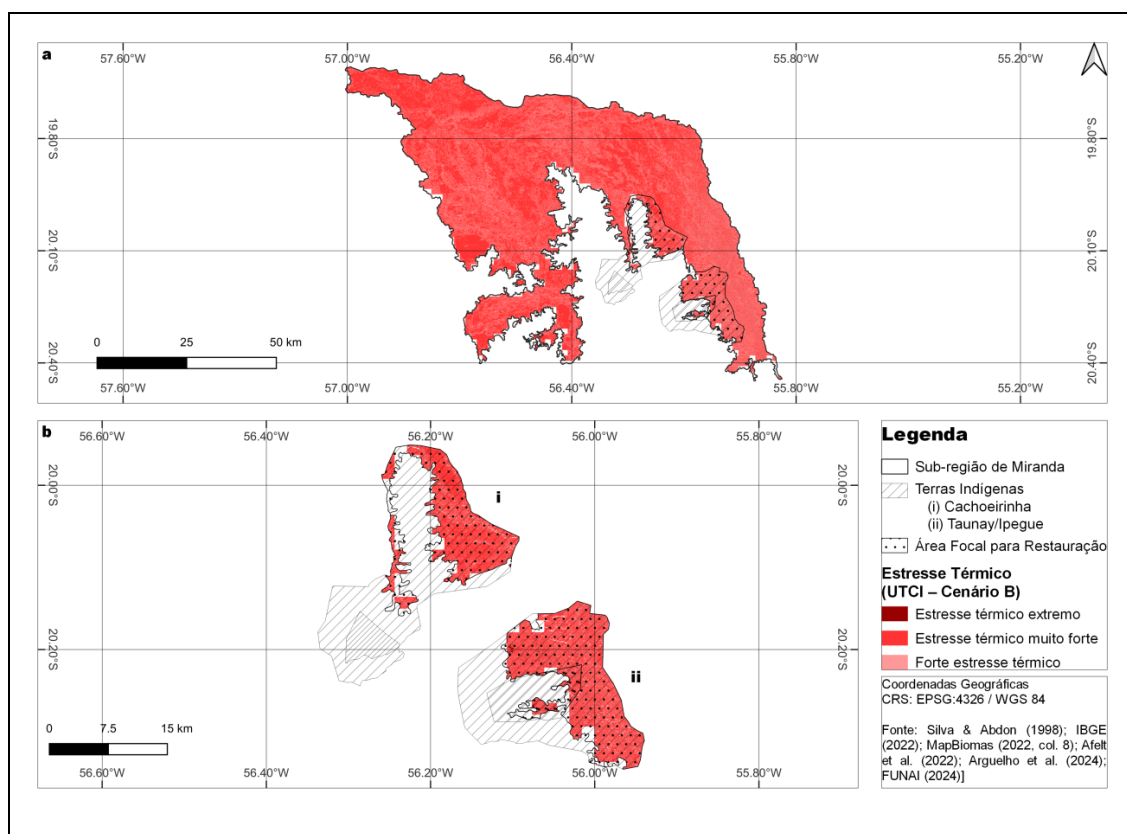


Figura 9. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI B. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.

No cenário C, que representa eventos climáticos extremos com parâmetros no percentil 90 ou 10, a área foco apresenta uma distribuição mais equilibrada entre as classes de estresse forte (15,51%) e muito forte (84,49%), sugerindo maior variabilidade térmica (Fig. 10).

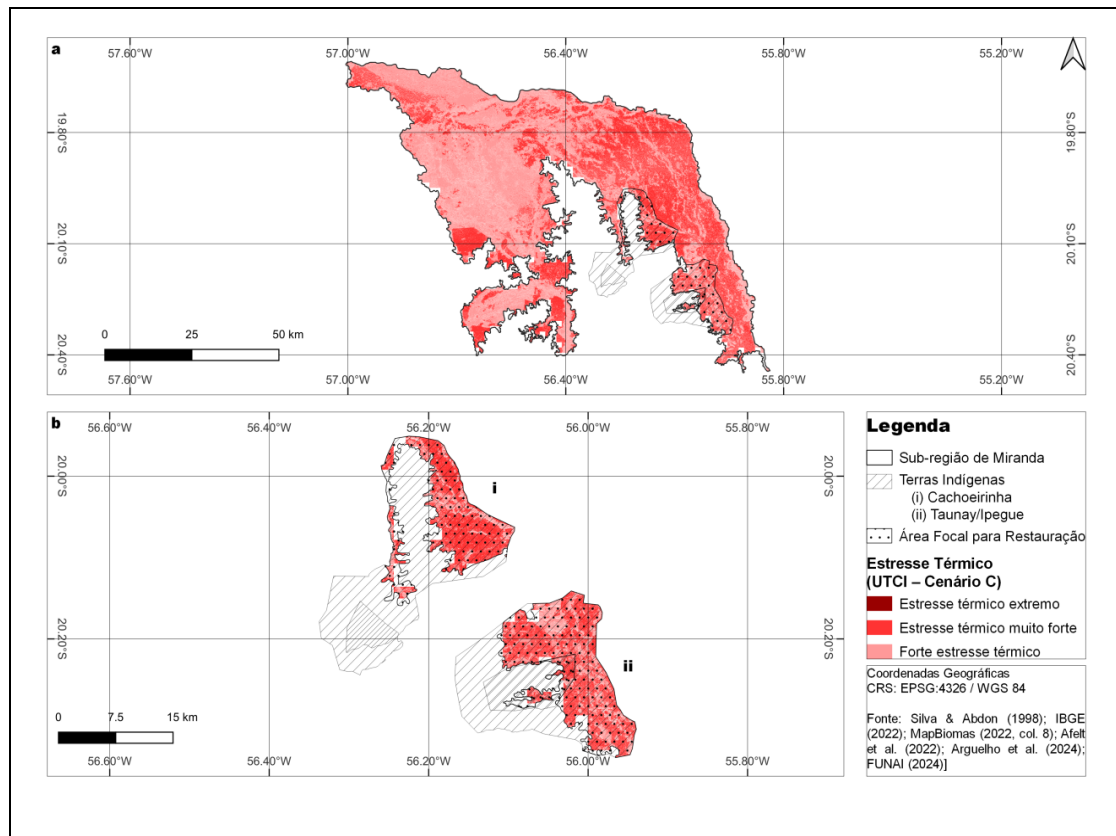


Figura 10. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI C. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.

No cenário D, baseado na média do mês mais quente do presente, a classe muito forte ainda predomina (91,35%), mas nota-se aumento da presença da categoria moderada (8,59%), indicando um alívio relativo em relação aos cenários anteriores (Fig. 11).

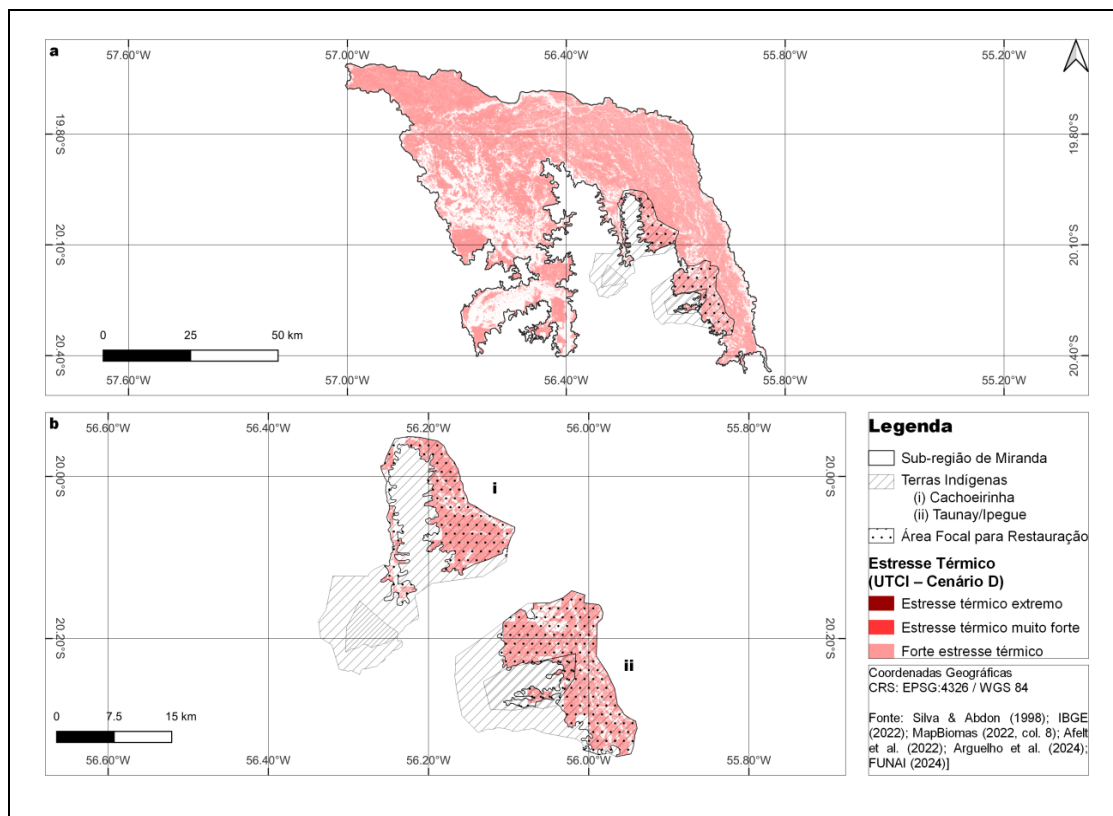


Figura 11. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI D. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.

Para os cenários futuros, o cenário E (que representa os 10% piores casos projetados para 2080-2090) mostra 98,92% da área foco sob estresse muito forte, enquanto 1,08% encontram-se em estresse forte, indicando que a intensidade térmica tende a se manter alta mesmo nas piores previsões (Fig. 12).

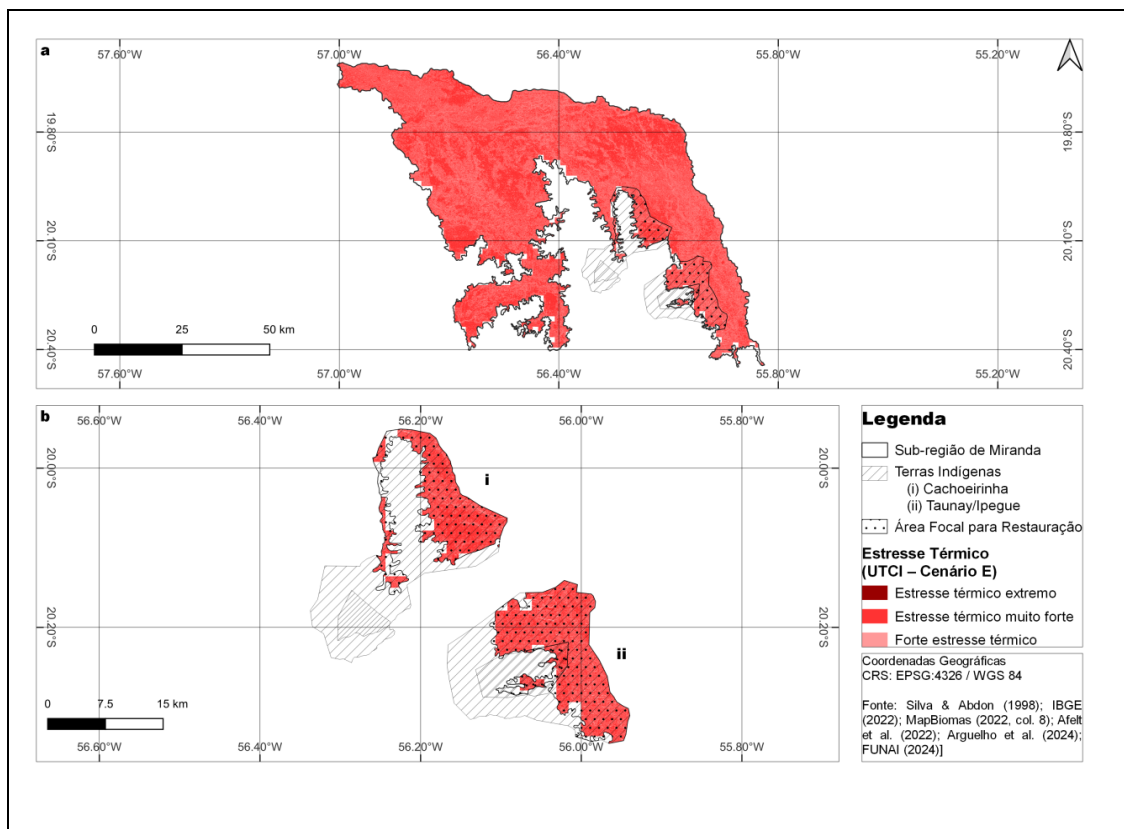


Figura 12. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI E. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica, indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.

Já o cenário F, que simula a média projetada para o mês mais quente no futuro, mantém a classe muito forte como predominante (92,25%), mas há um leve aumento na ocorrência de estresse moderado (1,05%) e forte (6,69%), sinalizando possíveis variações térmicas locais sob cenários de mudança climática mais conservadores (Fig. 13).

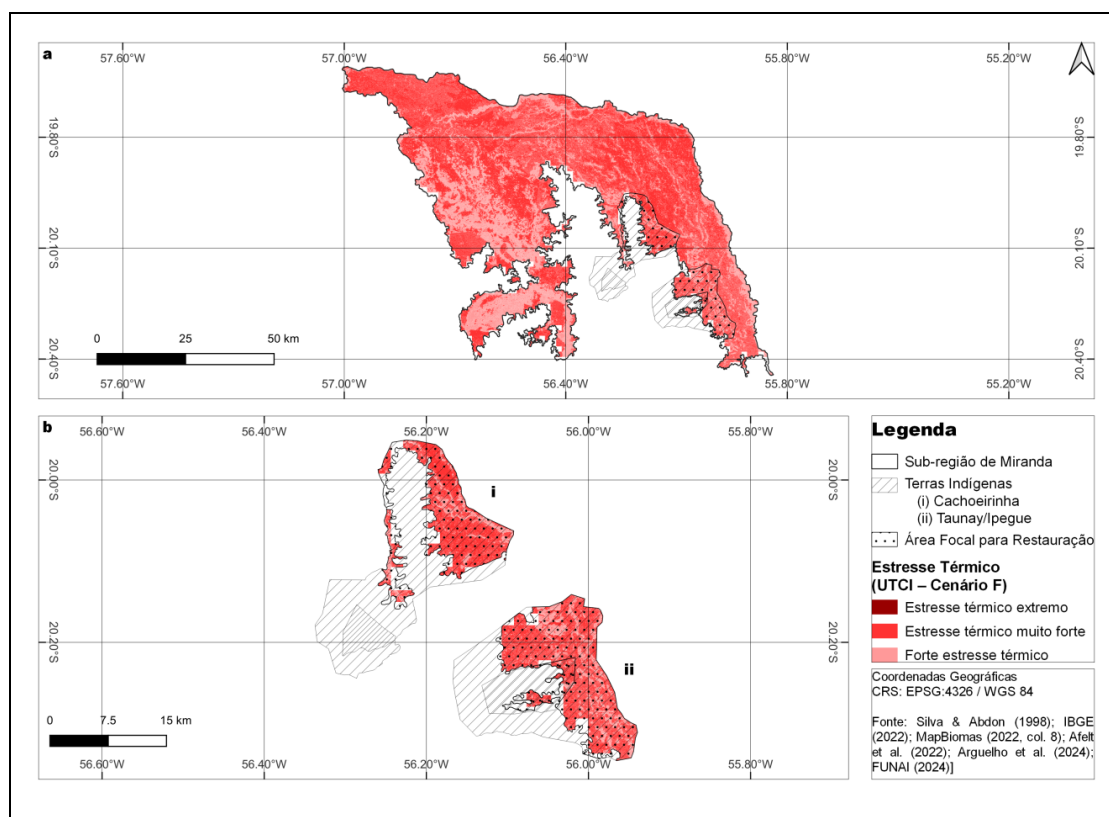


Figura 13. Distribuição das classes de estresse térmico humano na sub-região de Miranda (MS) (a) sob o Cenário UTCI F. No painel inferior (b), são destacadas as Terras Indígenas Cachoeirinha (i) e Taunay/Ipegue (ii), com suas respectivas áreas foco para restauração ecológica indicadas por hachuras pontilhadas sobre as zonas de maior severidade térmica.

Em todos os quatro cenários presentes (A, B, C e D), a classe de estresse térmico muito forte foi a mais persistente na área foco (Figs. 8-11). Mesmo com variações nas condições meteorológicas simuladas (como vento mínimo, extremos percentílicos ou médias mensais), essa classe permaneceu dominante, indicando um padrão recorrente de exposição intensa ao calor na região, reforçando a vulnerabilidade térmica atual.

Já nos dois cenários futuros (E e F), que simulam condições projetadas para o final do século sob diferentes abordagens (casos extremos e médias futuras), a classe de estresse térmico muito forte continua sendo a predominante (Figs. 12, 13). No entanto, o cenário F indica um leve aumento na presença de estresse forte e moderado, sugerindo variações

microclimáticas dentro da área foco mesmo sob projeções de aquecimento (Fig. 13).

3.5 Análise estatística dos cenários térmicos

Os testes estatísticos aplicados às categorias de estresse térmico na área foco revelam que, nos cenários presentes (A–D), a distribuição das áreas em km² varia conforme a categoria (Tab. 9) (Apêndice G, H e I). Para as classes de estresse térmico extremo e muito forte, os dados seguiram distribuição normal ($p > 0,05$), permitindo a aplicação de ANOVA. Já as classes de estresse forte e moderado não atenderam à normalidade ($p < 0,05$), sendo analisadas por meio do teste de Kruskal-Wallis, o qual não indicou diferenças significativas entre os cenários ($p > 0,39$). Nos cenários futuros (E–F), como o número de observações foi insuficiente para o teste de normalidade, aplicou-se o teste de Wilcoxon para todas as categorias, e em nenhum caso foram observadas diferenças estatísticas ($p = 1$). Esses resultados sugerem uma estabilidade estatística nas áreas impactadas, embora as magnitudes absolutas variem entre categorias e projeções.

Tabela 9. Resultados dos testes estatísticos por categoria de estresse térmico na área foco, comparando cenários presentes (A–D) e futuros (E–F).

Categoria	Teste de normalidade (p)	Teste presente (A-D)	Teste futuro (E-F)
Estresse térmico extremo	0,2373	ANOVA	Wilcoxon ($p = 1$)
Estresse térmico muito forte	0,4894	ANOVA	Wilcoxon ($p = 1$)
Forte estresse térmico	0,02597	Kruskal-Wallis ($p = 0,39$)	Wilcoxon ($p = 1$)
Estresse térmico moderado	0,001241	Kruskal-Wallis ($p = 0,39$)	Wilcoxon ($p = 1$)

As comparações ‘par a par’ entre os cenários presentes (A–D) e futuros (E–F) indicaram ausência de diferenças estatísticas significativas nas áreas submetidas às diferentes classes de estresse térmico na área foco (Tab. 10). Para todas as categorias analisadas (extremo, muito forte, forte e moderado), os testes de Wilcoxon resultaram em valores de $p = 1$, sugerindo estabilidade relativa na distribuição espacial do estresse térmico entre os períodos atual e projetado para 2080-2090, baseado no cenário de modelo climático SSP5-8.5. Casos pontuais com *NaN* ocorreram devido à ausência de dados comparáveis em determinados pares. Esses resultados reforçam que, embora os valores absolutos de área possam variar entre os cenários, a diferença estatística entre as condições simuladas não é significativa sob os critérios avaliados.

Tabela 10. Comparações “par a par” entre cenários presentes (A–D) e futuros (E–F), por categoria de estresse térmico, com valores de p obtidos pelo teste de Wilcoxon da área focal.

Categoria	Comparação	Resultado do Teste Estatístico
Estresse térmico extremo	Scenario_A vs Scenario_E	$p = 1$
Estresse térmico extremo	Scenario_A vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico extremo	Scenario_B vs Scenario_E	$p = 1$
Estresse térmico extremo	Scenario_B vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico extremo	Scenario_C vs Scenario_E	$p = 1$
Estresse térmico extremo	Scenario_C vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico extremo	Scenario_D vs Scenario_E	$p = NaN$
Estresse térmico extremo	Scenario_D vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico muito forte	Scenario_A vs Scenario_E	$p = 1$
Estresse térmico muito forte	Scenario_A vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico muito forte	Scenario_B vs Scenario_E	$p = 1$
Estresse térmico muito forte	Scenario_B vs Scenario_F	$p = 1$

Estresse térmico muito forte	Scenario_C vs Scenario_E	$p = 1$
Estresse térmico muito forte	Scenario_C vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico muito forte	Scenario_D vs Scenario_E	$p = 1$
Estresse térmico muito forte	Scenario_D vs Scenario_F	$p = 1$
Forte estresse térmico	Scenario_A vs Scenario_E	$p = 1$
Forte estresse térmico	Scenario_A vs Scenario_F	$p = 1$
Forte estresse térmico	Scenario_B vs Scenario_E	$p = 1$
Forte estresse térmico	Scenario_B vs Scenario_F	$p = 1$
Forte estresse térmico	Scenario_C vs Scenario_E	$p = 1$
Forte estresse térmico	Scenario_C vs Scenario_F	$p = 1$
Forte estresse térmico	Scenario_D vs Scenario_E	$p = 1$
Forte estresse térmico	Scenario_D vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico moderado	Scenario_A vs Scenario_E	$p = NaN$
Estresse térmico moderado	Scenario_A vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico moderado	Scenario_B vs Scenario_E	$p = NaN$
Estresse térmico moderado	Scenario_B vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico moderado	Scenario_C vs Scenario_E	$p = NaN$
Estresse térmico moderado	Scenario_C vs Scenario_F	$p = 1$
Estresse térmico moderado	Scenario_D vs Scenario_E	$p = 1$
Estresse térmico moderado	Scenario_D vs Scenario_F	$p = 1$

Nota: *NaN*: comparação não realizada por ausência de dados em uma das categorias.

3.6 Lista Indicativa de Espécies Nativas para Restauração Ecológica

A partir das bases de dados Flora e Funga do Brasil e Embrapa WebAmbiente, foram inicialmente obtidas 332 entradas de espécies nativas associadas ao bioma Pantanal. Desse total, 181 registros foram provenientes da Flora e Funga do Brasil, considerando espécies, subespécies e variedades com ocorrência no domínio fitogeográfico do Pantanal e status de endêmicas do Brasil. Da base Embrapa WebAmbiente, foram extraídas 151 espécies nativas registradas para o bioma, sem distinção de categorias taxonômicas. Após a limpeza e a aplicação dos critérios ecológicos definidos, chegou-se à lista final com 207 espécies nativas potencialmente indicadas para a restauração ecológica no Pantanal e em áreas adjacentes (Apêndice D e E).

As espécies identificadas pertencem a 56 famílias botânicas e 150 gêneros, refletindo uma ampla diversidade florística representativa das formações vegetais típicas da região. Um total de 89 espécies foi identificado como tendo função pioneira de cobertura, por sua capacidade de formar dossel ou contribuir para o sombreamento e proteção do solo, e 89 espécies foram consideradas essenciais para os estágios iniciais da sucessão, especialmente em áreas abertas ou degradadas.

Além das características ecológicas, aspectos etnobotânicos complementares também foram analisados. Dentre os usos mais frequentes, destacam-se os ornamentais (155 espécies), madeireiros (118 espécies) e medicinais (88 espécies), seguidos por aplicações melíferas (86 espécies), alimentícias e artesanais (71 espécies cada) e forrageiras (70 espécies). Em relação à polinização, 208 espécies apresentam síndromes florais bem documentadas, incluindo melitofilia (polinização por abelhas), ornitofilia (polinização por pássaros) e quiropterofilia (polinização por morcegos). Para a dispersão de sementes, 207 espécies possuem mecanismos identificados, com predominância de 110 casos de zoocoria (dispersão animal) e outros mecanismos como a anemocoria (dispersão pelo vento).

As espécies nativas identificadas neste estudo apresentam ampla distribuição geográfica e ecológica. A maioria das espécies ocorre em diversos estados e biomas brasileiros, enquanto nenhuma espécie foi identificada como exclusiva da região do Pantanal, reforçando a necessidade de ações integradas de conservação e uso de espécies amplamente adaptadas à região. Em termos de domínios fitogeográficos, que são as unidades de classificação

utilizadas pelo banco de dados Flora e Funga do Brasil, as espécies estão distribuídas em regiões como Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia. Para maior clareza e consistência com a terminologia comumente utilizada, nos referimos a esses domínios como biomas ao longo do texto. Notavelmente, 175 espécies ocorrem em mais de um bioma, indicando plasticidade ecológica e potencial para uso em diversos contextos ambientais.

Em relação aos tipos de vegetação, as espécies selecionadas estão associadas a uma variedade de formações estruturais: 153 espécies são características de vegetação florestal, 161 de sistemas do tipo savana e 21 de ambientes sazonalmente inundados. Essa diversidade reforça o valor funcional da lista de espécies para orientar a restauração em diferentes cenários ecológicos dentro do Pantanal e áreas adjacentes. Por fim, aproximadamente 32,4% das espécies selecionadas são endêmicas do Brasil, o que corresponde a 67 espécies.

3.6.1 Espécies Prioritárias para Restauração no Pantanal

A seleção final resultou em 18 espécies vegetais nativas consideradas prioritárias para ações de restauração ecológica no bioma Pantanal (Tab. 11). As espécies contemplam uma diversidade funcional importante para o sucesso da restauração, abrangendo principalmente formas de vida arbórea, além de arbustos e uma palmeira. Dentre as espécies analisadas, 15 são classificadas como árvores, duas como arbustos/árvores e uma como palmeira (*Attalea phalerata*), indicando uma composição estrutural favorável à formação de diferentes estratos verticais nas áreas restauradas. Quanto aos tipos de vegetação de ocorrência, a maioria das espécies (17) está associada a formações florestais, como florestas ciliares, florestas estacionais decíduais e semidecíduais e florestas ombrófilas. Oito espécies também ocorrem em sistemas do tipo savana, como o cerrado e a campinarana, enquanto cinco espécies foram registradas em ambientes sazonalmente inundáveis, como várzeas e igapós. Essa diversidade de tipos de vegetação amplia a aplicabilidade das espécies em diferentes contextos edafoclimáticos e topográficos dentro do Pantanal. Essas espécies selecionadas incluem aquelas cuja ocorrência nativa e, em alguns casos, endêmica sugere uma maior aptidão

ecológica para as condições locais, incluindo áreas com topoclimas classificadas como “hot”. Essa escolha considera a premissa de que espécies com histórico de ocorrência nessas regiões possuem maior potencial de adaptação às características ambientais predominantes.

Em relação ao uso etnobotânico, todas as 18 espécies possuem registros de uso documentados. As aplicações mais frequentes são de caráter ornamental (17 espécies), madeireiro (14 espécies) e medicinal (11 espécies). Outros usos relevantes incluem aplicações alimentícias (11 espécies), melíferas (10 espécies) e artesanais (8 espécies), além de registros para usos taníferos, oleaginosos, látex e condimentos. A presença de múltiplos usos reforça a importância socioeconômica e cultural das espécies selecionadas e indica potencial para integrar ações de restauração com benefícios diretos para comunidades locais.

No que se refere às estratégias sucessionais, verificou-se que 10 espécies possuem comportamento pioneiro ou secundário inicial, demonstrando alta capacidade de colonização em áreas abertas e degradadas. As demais espécies (8) foram classificadas como secundárias tardias ou com estratégias associadas a estágios clímax, indicando sua importância para a consolidação estrutural e funcional dos ecossistemas restaurados.

As síndromes de polinização e dispersão das espécies priorizadas também reforçam sua adequação para restauração ecológica. Em relação à polinização, 15 espécies são polinizadas predominantemente por abelhas, duas espécies por besouros e uma espécie por morcegos, evidenciando a diversidade de interações ecológicas que podem ser reativadas nos projetos de restauração. No tocante à dispersão de sementes, todas as espécies apresentam mecanismos de dispersão zoocórica (dispersão por animais), sendo que três delas combinam zoocoria com anemocoria (dispersão pelo vento). A predominância de zoocoria é especialmente estratégica para favorecer a recuperação da conectividade ecológica e o fluxo gênico entre fragmentos de vegetação nativa.

Em termos de status de conservação, a maioria das espécies (15) foi classificada como LC (Pouco Preocupante) nas listas do CNCFlora e da IUCN. No entanto, destaca-se que quatro espécies apresentaram categorias de risco mais elevadas: *Bowdichia virgilioides* (NT – Quase Ameaçada na CNCFlora),

Dilodendron bipinnatum (NT na IUCN), *Dipteryx alata* (VU – Vulnerável na IUCN) e *Dulacia egleri* (EN – Em Perigo no CNCFlora e DD – Dados Deficientes na IUCN) (Tabela 11). A inclusão dessas espécies ressalta a necessidade de conciliar esforços de restauração ecológica com estratégias de conservação ativa de espécies ameaçadas.

Tabela 11. Lista de espécies vegetais nativas priorizadas para ações de restauração imediata no Pantanal.

Espécie	Forma de vida	Tipo de Vegetação	Domínios Fitogeográficos	Uso etnobotânico	Estratégia de Sucessional	Polinização	Dispersão	Lista Vewrmelha	
								CNCFlora	IUCN
<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil.	Árvore	Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista	Ca, Ce, MA, Pam, Pa	Alimentício, Artesanal, Medicinal, Ornamental	Secundária inicial	Insetos, besouros	zoocoria/baricoria	LC	LC
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Árvore	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Semidecidual	Amz, Ce, MA	Aromático, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Pioneira/Secundária inicial/Secundária tardia/Clímax exigente em luz	Abelhas	zoocoria	LC	LC

<i>Attalea phalerata</i> Mart. ex Spreng.	Palmeira	Área Antrópica, Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial)	Amz, Ce	Alimentício, Artesanal, Cortiça, Condimento, Forrageiro, Fibra, Medicinal, Melífero, Ornamental	Secundária tardia	Insetos, besouros, abelhas	zoocoria	LC	LC
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Arbusto/Árvore	Carrasco, Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Perenifólia, Floresta Estacional Semidecidual, Restinga	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina, Tanífero	PioneiraSecundária tardia/Clímax exigente em luz	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria/anemocoria	NT	LC

<i>Byrsonima cocolobifolia</i> Kunth	Arbusto/Árvore	Campinarana, Campo Rupestre, Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Igapó, Savana Amazônica	Amz, Ce, MA	Alimentício, Artesanal, Madeireiro, Melífero	Secundária tardia/Climáx	Abelhas	zoocoria	LC	LC
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Arbusto/ Árvore/ Subarbusto	Cerrado (lato sensu)	Ce, MA, Pa	Alimentício, Condimento, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Secundária tardia	Morcegos, abelhas, mariposas, beija-flores	zoocoria	LC	LC
<i>Cordia brasiliensis</i> (I.M.Johnst.) Gottschling & J.S.Mill.	Árvore	Floresta Estacional Decidual	Pa	Forrageiro, melífero, ornamental	Pioneira/Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria/anemocoria	LC	LC

<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	Árvore	Cerrado (lato sensu), Floresta de Terra Firme, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial)	Amz, Ce, MA	Artesanal, Oleaginoso, Ornamental	Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	LC	NT
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Árvore	Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Savana Amazônica	Ce	Alimentício, Aromático, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria	LC	VU
<i>Dulacia egleri</i> (Bastos) Sleumer	Arbusto/Árvore	Floresta Ciliar ou Galeria	Ce, Pa	Ornamental	Pioneira/Secundária inicial/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	EN	DD

<i>Erythroxylum anguifugum</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Semidecidual, Vegetação Aquática	Amz, Ce, Pa	Melífero, ornamental	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	LC	LC
<i>Eugenia florida</i> DC.	Arbusto/Árvore	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial)	Amz, Ca, Ce, MA	Alimentício, Madeireiro, Melífero	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria	LC	LC

<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Árvore	Área Antrópica, Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Terra Firme, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Restinga	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Alimentício, Artesanal, Celulose, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina, Tanífero, Tintorial	Secundária tardia	Morcegos	zoocoria	LC	LC
------------------------------	--------	--	------------------------	--	-------------------	----------	----------	----	----

<i>Pouteria glomerata</i> (Miq.) Radlk.	Árvore	Campinarana, Carrasco, Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Igapó, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Decidua, Floresta Estacional Perenifólia, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial)	Amz, Ce, MA	Alimentício, Latex	Pioneira/Secundária a inicial/Secundária tardia	Abelhas, mariposas	zoocoria	LC	LC
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	Arbusto/Árvore	Cerrado (lato sensu)	Ce	Alimentício, Forrageiro, Latex, Madeireiro, Melífero,	Pioneira/Secundária a inicial	Abelhas, mariposas	zoocoria/barocoria	LC	LC

				Ornamental					
<i>Psychotria carthagenensis</i> Jacq.	Arbusto/Árvore	Campo de Várzea, Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Igapó, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Perenifólia, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Restinga	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	Forrageiro, madeira, alimentício, medicinal	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	LC	LC

<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	Árvore	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Terra Firme, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial)	Amz, Ca, Ce, MA	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Ornamental	Secundária tardia	Moscas	zoocoria	LC	LC
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Arbusto/Árvore	Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Decidual, Savana Amazônica	Amz, Ce	Alimentício, Artesanal, Aromático, Condimento, Cosmético, Forrageiro, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Oleaginoso, Ornamental	Pioneira/Secundária inicial	Besouros	zoocoria/barocoria	LC	LC

Nota: Amz: Amazônia; Ce: Cerrado; MA: Mata Atlântica; Pa: Pantanal; Ca: Caatinga; Pam: Pampa.

4. DISCUSSÃO

4.1 Heterogeneidade espacial e climática do Pantanal

A análise espacial confirmou a predominância de topoclimas frescos (48,67%) e moderadamente quentes (44,67%) em grande parte do Pantanal. No entanto, os topoclimas quentes, embora menos extensos (6,65%), representam zonas críticas de exposição térmica elevada, com maior suscetibilidade ao estresse ambiental e à perda de habitat. Segundo diretrizes práticas para o Pantanal, áreas com topoclimas mais quentes devem ser priorizadas nos esforços de restauração ecológica devido à sua vulnerabilidade aumentada à perda de serviços ecossistêmicos e ao risco de colapso ecológico. Nessas zonas, recomenda-se o uso de espécies com alta capacidade de sombreamento e resiliência hídrica, capazes de mitigar efeitos de ilhas de calor e proteger a microbiota do solo (MUPAN, 2025). Essa vulnerabilidade se agrava diante do avanço do desmatamento em áreas de planalto, especialmente no Cerrado, cuja função ecológica é essencial para a manutenção dos pulsos hidrológicos da planície (Roque et al., 2016; Boin et al., 2019; Guerra et al., 2020b). Estima-se que mais de 60% dessas áreas foram convertidas em pastagens e uso agrícola, provocando fragmentação do ecossistema (Alho et al., 2019).

Além disso, os impactos indiretos do desmatamento na Amazônia (como a redução das chuvas e aumento das secas) intensificam a ocorrência de incêndios na planície pantaneira (Bergier et al., 2018; Berlinck et al., 2021; Neto & Evangelista, 2022). Tais mudanças afetam os ciclos biogeoquímicos, os serviços ecossistêmicos e a vida das comunidades tradicionais, que dependem da regularidade das cheias (Chiaravalloti et al., 2021; Silva et al., 2022).

O processo de avulsão fluvial no megaleque do Taquari é um exemplo das alterações permanentes na dinâmica hídrica que têm promovido a conversão de áreas úmidas em terrenos suscetíveis ao uso agropecuário e ao fogo (Louzada et al., 2020). A redução da precipitação, aliada à construção de barragens, tem comprometido a segurança hídrica da planície (Ikeda-Castrillon

et al., 2022). A complexidade das interações entre planícies alagáveis e planaltos, aliada às pressões antrópicas crescentes, exige uma abordagem integrada de monitoramento climático, sensoriamento remoto e saberes locais para identificar zonas de degradação ativa e mapear áreas com potencial de reconexão ecológica, além de pesquisas para entender os impactos multiescalares da mudança ambiental no Pantanal (Schulz et al., 2023; MUPAN, 2025).

Projeções de cobertura vegetal indicam que, mesmo com cumprimento da legislação ambiental, até 2050 haverá perda acumulada de 3% da vegetação nativa na planície e 10% no planalto, formando um arco de degradação justamente nas áreas de menor inundação e maior aptidão agrícola (Guerra et al., 2020b). Esse padrão reforça a urgência da conservação de zonas de transição entre planalto e planície (Anexo A), especialmente diante de eventos climáticos extremos e choques múltiplos recentes que expuseram a fragilidade ecológica e socioeconômica do Pantanal, como os incêndios de 2020, a seca histórica e a queda do nível do rio Paraguai (Vázquez et al., 2021), e, sobretudo, diante de projeções que indicam aumento de até 58% na perda de vegetação nativa sob cenários de intensificação do uso da terra no Pantanal e seus arredores (Guerra et al., 2025, Anexo B).

Essas áreas de transição entre planalto e planície concentram elevado potencial para ganhos de biodiversidade e conectividade ecológica, sendo identificadas como prioritárias em escala nacional para restaurar a integridade funcional da paisagem (Liévano-Latorre et al., 2025). No contexto do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Mato Grosso do Sul (ZEE-MS), essas zonas – como a Depressão do Miranda – também são reconhecidas como estratégicas para ações de restauração e manejo sustentável, devido à sua posição de interface entre ambientes distintos (planície e planalto) e à sua importância para o equilíbrio hidrológico e a proteção da biodiversidade (Mato Grosso do Sul, 2015). O ZEE-MS recomenda, entre outras medidas, o incentivo à recuperação ambiental, a implantação de corredores ecológicos e o uso de espécies nativas adaptadas para melhorar a conectividade da paisagem e reduzir os efeitos da fragmentação (Mato Grosso do Sul, 2009). Além disso, destaca a necessidade de recuperar áreas com passivos ambientais relevantes, especialmente em

regiões de borda entre grandes unidades geomorfológicas, como o Planalto da Bodoquena e a Planície do Pantanal, onde se sobrepõem vulnerabilidades ecológicas e pressões antrópicas crescentes (Mato Grosso do Sul, 2015)

4.2 Importância de priorizar a restauração em zonas topoclimáticas quentes

A análise espacial com filtro de classe logarítmica $\geq 10^6$ identificou nove sub-regiões críticas, totalizando 213,08 km². A sub-região de Miranda concentra quase 48% dessa área (102,94 km²), destacando-se como o principal hotspot térmico para restauração ecológica. A presença de faixas logarítmicas elevadas (10^7 e 10^8) evidencia a gravidade das exposições térmicas. As unidades topoclimáticas 3133 e 3233, dominantes nessas áreas, apresentam elevado acúmulo de radiação solar incidente e baixa refletância, agravando o efeito de ilhas de calor. Essas condições tornam a vegetação um elemento essencial para amortecer o microclima local, melhorar o conforto térmico e promover a regulação hídrica e climática do sistema pantaneiro (Ikeda-Castrillon et al., 2022). O uso de vegetação nativa adaptada pode reduzir a temperatura do solo em até 4°C e melhorar significativamente o conforto térmico e o balanço hídrico (MUPAN, 2025).

Estudos em escala nacional destacam que a restauração de áreas de elevada radiação e uso agropecuário intensivo, como o Pantanal, pode contribuir significativamente para aumentar a conectividade ecológica e promover o estoque de até 9,8 milhões de toneladas de carbono atmosférico (Liévano-Latorre et al., 2025). Os cenários analisados por Guerra et al., (2025) mostram que a restauração e conservação da vegetação nativa são essenciais para mitigar perdas de solo e de carbono, especialmente em áreas de transição e planícies vulneráveis.

O uso do solo nas áreas prioritárias também indica uma elevada ocupação antrópica, com predominância de formações campestres e savânicas, além de pastagens e mosaicos de uso. Isso reforça a importância da restauração como estratégia de reconversão produtiva e mitigação dos impactos. Nessas áreas de transição topoclimática, recomenda-se adotar

arranjos agroecológicos integrando sistemas silvipastoris e faixas de regeneração assistida com espécies lenhosas de crescimento rápido e tolerantes à seca (MUPAN, 2025). Estudos recentes reforçam a necessidade de priorizar áreas com vegetação sensível ao fogo e risco elevado de incêndios extremos, sobretudo em florestas ripárias próximas a cursos d'água, como indicado por Martins et al., (2022), que identificaram 24.580 ha prioritários para prevenção e 315.429 ha para restauração no Pantanal. A priorização de áreas com vegetação sensível ao fogo, especialmente em regiões próximas a cursos d'água, já é defendida como medida estratégica para evitar megaincêndios e orientar a restauração ecológica em larga escala no Pantanal (Martins et al., 2022).

Essas áreas são também mais suscetíveis a eventos extremos, como os incêndios que atingiram mais de 30% da área total do Pantanal brasileiro em 2020, queimando infraestrutura crítica e prejudicando atividades produtivas, como a pecuária e o turismo (Vázquez et al., 2021). A modelagem de superfície terrestre que incorpora explicitamente planícies alagáveis, como no caso do Pantanal, tem demonstrado maior precisão na simulação de processos sazonais (incluindo descarga fluvial e evapotranspiração) e é fundamental para orientar ações de restauração climática adaptativa (Schrapffer et al., 2020). Assim, recomenda-se que áreas afetadas por fogo recorrente sejam objeto de restauração sequencial, com plantio escalonado e cobertura inicial com espécies que formem dossel rapidamente, a fim de reduzir a evapotranspiração direta e criar condições favoráveis para espécies mais exigentes (MUPAN, 2025).

4.3 Estresse térmico humano e a urgência da restauração

A análise do estresse térmico humano com base nos índices UTCI e WBGT revelou que mais de 90% da área foco em Miranda já apresenta condição de estresse térmico “muito forte” nos cenários atuais, com manutenção desse padrão nos cenários projetados para 2080–2090. Os testes estatísticos confirmaram a estabilidade dessa condição térmica, com $p = 1$ em todos os cenários comparados. Tais níveis de exposição ultrapassam os limites fisiológicos para atividades ao ar livre, com impactos diretos à saúde,

principalmente de grupos vulneráveis como idosos e mulheres (Wanner et al., 2025). Em áreas tropicais, a faixa de conforto térmico estimada pelo índice UTCI está entre 21,5°C e 28,5°C (patamar já superado na maior parte do Pantanal) (Borges et al., 2020).

O uso de espécies nativas de copa ampla pode reduzir a temperatura superficial e criar refúgios térmicos em ambientes críticos, como sugerido por estudos que relacionam a presença de vegetação ao conforto térmico humano (Abreu-Harbich et al., 2015; Johansson et al., 2017; Ribeiro et al., 2023). O uso de múltiplos índices (como PET, PMV, WBGT e UTCI) permite compreender melhor a percepção térmica e orientar políticas públicas de adaptação climática (Afelt et al., 2022; Borges et al., 2020).

4.4 Critérios socioambientais e a seleção de Miranda como foco estratégico

A seleção da sub-região de Miranda foi fundamentada na sobreposição entre áreas críticas de estresse térmico (classe $\log 10^6$ – 10^8) e a presença de Terras Indígenas vulneráveis (Taunay/Ipegue e Cachoeirinha). Mais de 90% dos focos de calor registrados em julho e agosto de 2024 ocorreram em áreas ainda não regularizadas da TI Cachoeirinha, apontando para a urgência da regularização fundiária e da restauração como estratégias integradas de proteção socioambiental (Cimi, 2024). As TIs Cachoeirinha e Taunay/Ipegue, localizadas na sub-região priorizada, apresentam extensas áreas mapeadas como passíveis de restauração, segundo levantamento conduzido por The Nature Conservancy (TNC), Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI) e Coordenação das Organizações Indígenas da Amazônia Brasileira (COIAB) (Anexo C). Essas áreas incluem fragmentos desmatados dentro dos limites das TIs, com alta concentração de passivos ambientais, o que reforça a relevância territorial e socioambiental da escolha da sub-região para ações de restauração ecológica.

A atuação das brigadas indígenas tem sido fundamental na defesa desses territórios, demonstrando a importância da restauração como política de justiça ambiental. Recomenda-se fortalecer arranjos institucionais com povos indígenas e comunidades locais, capacitando e financiando brigadas

comunitárias de prevenção e recuperação ambiental. A inclusão dessas populações no planejamento e execução da restauração é considerada fundamental para garantir efetividade ecológica e equidade socioespacial (MUPAN, 2025). A articulação com comunidades locais é fundamental, pois a maior parte das áreas prioritárias para prevenção e restauração se encontra fora de unidades de conservação da natureza e Terras Indígenas (Martins et al., 2022), reforçando a necessidade de integração de políticas públicas, brigadas comunitárias e proprietários rurais. Além disso, as desigualdades socioespaciais e a vulnerabilidade das comunidades indígenas frente às mudanças ambientais e à ocupação irregular de terras reforçam a urgência de políticas de restauração integradas à justiça territorial (Schulz et al., 2023).

4.5 Espécies nativas como ferramentas funcionais e resilientes

A lista de 207 espécies nativas inclui uma ampla diversidade ecológica e funcional, com 18 espécies selecionadas como prioritárias para a restauração. No entanto, estudos indicam que o Pantanal permanece como um dos biomas com maiores lacunas de conhecimento sobre práticas de restauração, sobretudo em ambientes não florestais e com baixa regeneração natural (Guerra et al., 2020a; b). É de se destacar a importância de um catálogo funcional de espécies, selecionadas não apenas por critérios ecológicos, mas também pela relevância cultural e pelos usos múltiplos que podem gerar benefícios diretos às comunidades envolvidas. As 207 espécies levantadas no presente estudo dialogam diretamente com as recomendações do manual (MUPAN, 2025), especialmente ao considerar atributos como resiliência ao fogo, plasticidade ecológica e facilidade de propagação.

A predominância de espécies com polinização por abelhas e dispersão zoocórica reforça seu potencial de reativar interações ecológicas e promover conectividade (Pilon & Durigan, 2013; Gonçalves et al., 2024). A avaliação de atributos como taxa de crescimento, sobrevivência, tolerância à herbivoria e geada, como proposto por Pilon e Durigan (2013), permite priorizar espécies com maior probabilidade de sucesso em diferentes condições ambientais e reduzir os custos da restauração.

A diversidade de formas de vida e tipos de vegetação (incluindo florestas ciliares, savanas e áreas sazonalmente alagadas) amplia a aplicabilidade da lista em contextos variados do Pantanal. A presença de espécies ameaçadas de extinção nas categorias NT, VU e EN reforça o papel conservacionista da restauração, conciliando biodiversidade e adaptação climática. Além disso, a seleção baseada em atributos ecológicos, como copa ampla e dispersão eficiente, pode acelerar a reestruturação da comunidade vegetal e favorecer processos-chave da sucessão ecológica (Pilon & Durigan, 2013). A inclusão de espécies adaptadas a diferentes substratos e regimes hidrológicos reforça a necessidade de um banco de sementes funcional e georreferenciado, como sugerido por Gonçalves et al., (2024) e também conforme indicado por MUPAN (2025), que recomenda a implementação de bancos de sementes comunitários, georreferenciados e manejados de forma participativa, para garantir disponibilidade local de material adaptado às diferentes condições edafoclimáticas do Pantanal.

4.6 Implicações para a política de restauração e direções futuras

A integração entre dados topoclimáticos, indicadores de estresse térmico e critérios socioambientais permite orientar políticas públicas baseadas em evidências, com foco em Soluções Baseadas na Natureza (SbN), proteção de nascentes e fortalecimento de brigadas comunitárias (Garcia et al., 2021; Barros et al., 2022). Em consonância, o guia de restauração do Pantanal (MUPAN, 2025) propõe a adoção de SbN aliadas a instrumentos como pagamentos por serviços ecossistêmicos, planos de manejo comunitário e contratos de restauração produtiva, especialmente em áreas críticas identificadas por análise topoclimática.

A intensificação das colaborações científicas após os incêndios de 2020 impulsionou o desenvolvimento de novos projetos, legislações e redes de monitoramento (Barbosa et al., 2024). As crises simultâneas de 2020 revelaram os limites dos atuais modelos de desenvolvimento e infraestrutura no Pantanal, e têm potencial para deflagrar mudanças de regime de uso da terra, com consequências duradouras para a conservação e o planejamento territorial (Vázquez et al., 2021). Tais mudanças de regime exigem uma nova

governança restauradora (MUPAN, 2025), com políticas multiescalares, mecanismos de financiamento climático e estratégias de reconversão produtiva orientadas por mapas de vulnerabilidade térmica e social. Os princípios propostos por Tomas et al., (2024), como o reconhecimento da Bacia do Alto Paraguai como unidade de gestão e os direitos das comunidades tradicionais, estão alinhados aos achados deste estudo.

Em face da crescente crise ambiental no Pantanal, a recente promulgação da Lei Nº 6.160, de 18 de dezembro de 2023, no Mato Grosso do Sul, representa um marco legislativo ao estabelecer a Política Estadual da Planície Alagável da Bacia do Alto Paraguai, visando a conservação, proteção e restauração sustentável do bioma. Esta lei, que substitui regulamentações anteriores, busca endereçar as complexidades da região, definindo percentuais de preservação da vegetação nativa (50% em áreas florestais e de Cerrado, 40% em campestres) e criando um fundo estadual para o desenvolvimento sustentável. Entretanto, documentos oficiais recentes, como a Nota Técnica nº 762/2023 do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2023), alertam que a flexibilização das normas estaduais de uso e ocupação do solo, incluindo o Decreto nº 14.273/2015 e a Resolução SEMADESC nº 015/2023, tem favorecido a expansão da pecuária e de outras atividades sobre áreas de alta relevância ecológica, especialmente nas zonas de transição entre planalto e planície, com impactos diretos na conectividade, nos regimes hidrológicos e nos índices de desmatamento. Tais evidências reforçam a necessidade de uma regulamentação federal específica para o Pantanal, conforme preconiza o artigo 10 do Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), de modo a garantir a proteção efetiva dos processos ecológicos essenciais à sustentabilidade do bioma.

No entanto, a efetividade dessa e de outras políticas, como já apontado para o Decreto nº 774/2024 (Barros-Rosa et al., 2025), dependerá da sua capacidade de transpor as barreiras da implementação, como a continuidade da perda de vegetação e a expansão de pastagens, exigindo um planejamento territorial ainda mais refinado e a articulação de ações que integrem os achados científicos sobre vulnerabilidade térmica e a participação ativa das comunidades locais para uma restauração verdadeiramente adaptativa e justa. A definição de zonas prioritárias, conforme as classes logarítmicas de estresse

térmico e sua sobreposição com indicadores sociais, deve guiar o ordenamento ambiental e orientar ações governamentais e da sociedade civil (MUPAN, 2025).

A restauração, aliada à participação social e ao uso de indicadores como o UTCI, pode guiar um planejamento territorial mais adaptado às mudanças climáticas. Estratégias baseadas em cenários sustentáveis demonstraram potencial para reduzir em até 45% a perda de solo e aumentar o armazenamento de carbono em 7%, comparativamente ao cenário “*business as usual*” (Guerra et al., 2025).

A definição de prioridades com base no risco de fogo, na presença de espécies sensíveis e no potencial de regeneração natural, como propõem Martins et al., (2022), deve nortear políticas públicas e investimentos em restauração no Pantanal. Recomendações incluem o fortalecimento da pesquisa interdisciplinar, a incorporação de saberes locais e a necessidade de políticas adaptativas frente às múltiplas dimensões da crise ambiental no Pantanal (Schulz et al., 2023). A criação de bancos de dados abertos sobre diversidade vegetal e atributos funcionais de sementes no Pantanal é urgente para orientar programas de restauração e responder aos desafios das mudanças ambientais (Gonçalves et al., 2024). A incorporação de dados validados por especialistas e modelagem de distribuição de espécies, como proposto por Liévano-Latorre et al., (2025), permite orientar decisões em nível nacional e subnacional, aliando conservação da biodiversidade e metas de mitigação climática.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este estudo demonstrou que a integração entre modelagem topoclimática, avaliação de estresse térmico humano e critérios socioambientais é uma abordagem eficaz para a identificação de áreas prioritárias para a restauração ecológica no Pantanal. A priorização de sub-regiões como Miranda, com alta carga térmica, presença de Terras Indígenas vulneráveis e vegetação nativa fragmentada, evidencia a necessidade de ações estratégicas em territórios que reúnem múltiplas dimensões de risco e oportunidade.

A análise espacial revelou que, embora os topoclimas quentes ocupem uma pequena fração do bioma, concentram condições críticas para a biodiversidade e o bem-estar humano, especialmente sob cenários futuros de aquecimento. A persistência do estresse térmico extremo nesses ambientes reforça a urgência da restauração como medida adaptativa. A seleção de espécies nativas com atributos funcionais e ecológicos, aliada ao conhecimento tradicional, pode acelerar a regeneração da estrutura vegetal e o restabelecimento de processos-chave dos ecossistemas, promovendo também benefícios sociais e culturais.

Os resultados obtidos corroboram estudos recentes que defendem uma restauração orientada por dados ecológicos e climáticos, adaptada às especificidades de cada bioma e baseada em indicadores robustos. A restauração no Pantanal exige, portanto, políticas públicas integradas, planejamento territorial sensível às dinâmicas locais e o fortalecimento de redes comunitárias, como brigadas de sementes e monitoramento participativo.

Conclui-se que estratégias de restauração ecológica no Pantanal devem considerar a heterogeneidade ambiental, os impactos acumulados das mudanças climáticas e os saberes territoriais, com foco em soluções baseadas na natureza que combinem resiliência ecológica, justiça ambiental e adaptação climática.

Limitações do estudo

Dificuldades computacionais: o processamento de grandes volumes de dados raster de alta resolução (modelos topoclimáticos e índices UTCI/WBGT) exigiu elevado poder computacional, prolongando o tempo de processamento e limitando a aplicação em áreas ainda maiores.

Ausência de dados microclimáticos locais: não foi possível validar os resultados com sensores de temperatura ou dados de campo, o que limita a acurácia espacial dos índices de estresse térmico.

Limitações nas séries temporais climáticas: os dados de base utilizados refletem períodos recentes e cenários específicos, e podem não capturar variabilidades interanuais maiores ou tendências de longo prazo.

Dados socioambientais dispersos e despadronizados: a dificuldade de acesso a informações atualizadas e organizadas sobre ocupações humanas, uso tradicional do território e conflitos socioambientais restringiu a análise integrada entre vulnerabilidade climática e justiça ambiental.

6. REFERÊNCIAS

- Abreu-Harbach, L., Labaki, L., & Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, 138, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.008>
- Afelt, A., Szymalski, W., & Leziak, K. (2022). Urban thermal comfort—Reality and challenges. *Studia Ecologiae et Bioethicae*, 20(3), 45–60. <https://doi.org/10.21697/seb.2022.24>
- Alho, C., & Silva, J. (2012). Effects of severe floods and droughts on wildlife of the Pantanal wetland (Brazil)—A review. *Animals*, 2, 591–610. <https://doi.org/10.3390/ani2040591>
- Alho, C., & Vieira, L. (1997). Fish and wildlife resources in the Pantanal wetlands of Brazil and potential disturbances from the release of environmental contaminants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(1), 71–74. <https://doi.org/10.1002/etc.5620160107>
- Alho, C., Mamede, S., Benites, M., Andrade, B., & Sepúlveda, J. (2019). Ameaças à biodiversidade do Pantanal Brasileiro pelo uso e ocupação da terra. *Ambiente & Sociedade*, 22, e01891. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc201701891vu2019l3ao>
- Aranda, R. (2019). New distribution record of *Epipompilus aztecus* (Cresson, 1869) (Hymenoptera: Pompilidae) in the Brazilian Pantanal. *Brazilian Journal of Biology*, 79, 466–469. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.183386>
- Arguelho, J. S., Leziak, K., Saito, C. H., & Afelt, A. (no prelo). Navigating the interplay of ecosystem restoration, climate change and human health:

Addressing challenges with a case study in Central Europe. In *Global Nexus Handbook* (Vol. 3). Wiley.

Arguelho, J. S., Oliveira, J. A. D., Pires-Oliveira, J. C., Cupertino-Eisenlohr, M. A., Simioni, P. F., Silva, I. V. D., Silgueiro, V. F., Sobral-Souza, T., Santos-Silva, D. L., & Eisenlohr, P. V. (2025). Could plant species currently used in the ecological restoration of a comprehensive ecotone in Brazil be resilient to climate changes?. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/11263504.2025.2519079>

Back, Y., Bach, P., Jasper-Tönnies, A., Rauch, W., & Kleidorfer, M. (2020). A rapid fine-scale approach to modelling urban bioclimatic conditions. *The Science of the total environment*, 143732. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143732>.

Barros, A. E., Morato, R. G., Fleming, C. H., Pardini, R., Oliveira-Santos, L. G. R., Tomas, W. M., Kantek, D. L. Z., Tortato, F. R., Fragoso, C. E., Azevedo, F. C. C., Thompson, J. J., & Prado, P. I. (2022). Wildfires disproportionately affected jaguars in the Pantanal. *Communications Biology*, 5(1), 1028. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03937-1>

Barros-Rosa, L., Peluso, L. M., Lemes, P., Johnson, M. S., Dalmagro, H. J., da Cunha, C. N., Zanella de Arruda, P. H., Mateus, L., & Penha, J. (2025). The ineffectiveness of current environmental and fire policies in the world's largest wetland. *Environmental Research Letters*, 20(3), 034039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/adb7f5>

Bergier, I., Assine, M., McGlue, M., Alho, C., Silva, A., Guerreiro, R., & Carvalho, J. (2018). Amazon rainforest modulation of water security in the Pa wetland. *Science of the Total Environment*, 619-620, 1116-1125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.163>.

Berlinck, C., Lima, L., Pereira, A., Carvalho, E., Paula, R., Thomas, W., & Morato, R. (2021). The Pantanal is on fire and only a sustainable agenda can save the largest wetland in the world. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e244200. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.244200>

- Bitencourt, D., Alves, L., Shibuya, E., Da Cunha, I., & De Souza, J. (2020). Climate change impacts on heat stress in Brazil—Past, present, and future implications for occupational heat exposure. *International Journal of Climatology*, 41, E2741-E2756. <https://doi.org/10.1002/joc.6877>.
- Bitencourt, D. (2019). Maximum wet-bulb globe temperature mapping in central–south Brazil: a numerical study. *Meteorological applications*, 26, 385-395. <https://doi.org/10.1002/met.1769>
- Boin, M., Martins, P., Silva, C., & Salgado, A. (2019). Pantanal: the Brazilian wetlands. *The Physical Geography of Brazil: Environment, Vegetation and Landscape*, 75-91. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_5.
- Borges, V. C. A. L., Callejas, I. J. A., & Durante, L. C. (2020). Thermal sensation in outdoor urban spaces: A study in a Tropical Savannah climate, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 64, 533–545. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01830-x>
- Braidwood, D., Taggart, M., Smith, M., & Andersen, R. (2018). Translocations, conservation, and climate change: use of restoration sites as protorefuges and protorefugia. *Restoration Ecology*, 26(1), 20-28. <https://doi.org/10.1111/REC.12642>.
- Chiaravalloti, R., Freitas, D., Souza, R., Biswas, S., Markos, A., Manfro, M., & Dyble, M. (2021). Resilience of social-ecological systems: drastic seasonal change is associated with economic but not social flexibility among fishers in the Brazilian Pantanal. *Ecology and Society*, 26(2). <https://doi.org/10.5751/ES-12433-260230>.
- Choe, H., Thorne, J., & Hollander, A. (2020). From disappearing climates to climate hubs, the five classes of climate risk for wildlife refuges. *Landscape Ecology*, 35, 2163 - 2177. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01090-w>.
- Cimi – Conselho Indigenista Missionário. (2024, outubro 1). Em processo de demarcação, terra indígena ocupada por fazendas de gado arde em chamas no Pantanal. <https://cimi.org.br/2024/10/ti-cachoerinha-queimadas-pantanal/>

- Cowles, J., Wragg, P., Wright, A., Powers, J., & Tilman, D. (2016). Shifting grassland plant community structure drives positive interactive effects of warming and diversity on aboveground net primary productivity. *Global Change Biology*, 22(2), 741–749. <https://doi.org/10.1111/gcb.13111>
- Cunha, A., Buermann, W., & Marengo, J. (2023). Changes in compound drought-heat events over Brazil's Pantanal wetland: An assessment using remote sensing data and multiple drought indicators. *Climate Dynamics*, 62(1), 739–757. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06937-x>
- Cunha, C., Rawiel, P., Wantzen, K. M., Junk, W. J., & Prado, A. (2006). Mapping and characterization of vegetation units by means of Landsat imagery and management recommendations for the Pantanal of Mato Grosso (Brazil), north of Poconé. *INPA*, 19, 1–32. https://repository.inpa.gov.br/bitstream/1/40283/1/p_1_32.pdf
- D'Acunha, B., Dalmagro, H., De Arruda, P., Biudes, M., Lathuillière, M., Uribe, M., Couto, E., Brando, P., Vourlitis, G., & Johnson, M. S. (2024). Changes in evapotranspiration, transpiration and evaporation across natural and managed landscapes in the Amazon, Cerrado and Pantanal biomes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 346, 109875. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109875>
- Ely, P., Fantin-Cruz, I., Tritico, H., Girard, P., & Kaplan, D. (2020). Dam-induced hydrologic alterations in the rivers feeding the Pantanal. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 579031. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.579031>
- Evans, T., Costa, M., Telmer, K., & Silva, T. (2010). Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to map land cover and seasonal inundation in the Brazilian Pantanal. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(4), 560–575. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2010.2089042>
- Gallardo, B., Aldridge, D., González-Moreno, P., Pergl, J., Pizarro, M., Pyšek, P., Thuiller, W., Yesson, C., & Vilà, M. (2017). Protected areas offer refuge from invasive species spreading under climate change. *Global Change*

Biology, 23, 5331–5343. <https://doi.org/10.1111/gcb.13798>

- Gann, G., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C., Jonson, J., Hallett, J., Eisenberg, C., Guariguata, M., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- Gonçalves, D. S., Oliveira, P. C., Gonçalves, S. R., Silveira, F. A., & Teixido, A. L. (2024). Seeding the Pantanal: orchestrating research to overcome restoration barriers in the world's largest tropical wetland. *Restoration Ecology*, 32(5), e14148. <https://doi.org/10.1111/rec.14148>.
- Guerra, A., Oliveira, P., Roque, F., Rosa, I., Ochoa-Quintero, J., Guariento, R., Colman, C., Dib, V., Maioli, V., Strassburg, B., & Garcia, L. (2020b). The importance of Legal Reserves for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses. *Journal of Environmental Management*, 260, 110128. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110128>
- Guerra, A., Resende, F., Bergier, I., Fairbrass, A., Bernardino, C., Centurião, D. A. S., Bolzan, F., Marcel, G., Rosa, I. M. D., Silva, J. C. S., Garcia, L. C., Larcher, L., Oliveira, P. T. S., Chiaravalloti, R. M., Roscoe, R., Louzada, R., Santos, S., Tomas, W. M., Nunes, A. V., & Roque, F. O. (2025). Land use and regulating ecosystem services scenarios for the Brazilian Pantanal and its surroundings under different storylines of future regional development. *Conservation Science and Practice*, e70012. <https://doi.org/10.1111/csp2.70012>
- Guerra, A., Roque, F., Garcia, L., Ochoa-Quintero, J., Oliveira, P., Guariento, R., & Rosa, I. (2020a). Drivers and projections of vegetation loss in the Pantanal and surrounding ecosystems. *Land Use Policy*, 91, 104388. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104388>
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H. Lee & J. Romero, Eds.). IPCC.

<https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

- Ivory, S., McGlue, M., Spera, S., Silva, A., & Bergier, I. (2019). Vegetation, rainfall, and pulsing hydrology in the Pantanal, the world's largest tropical wetland. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4ffe>
- Jian, H., Du, X., Yan, Z., Zhan, Q., Xu, C., & Fan, X. (2024). CUTCI: A GPU-accelerated computing method for the Universal Thermal Climate Index. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 21, 1–5. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2024.3378696>
- Johansson, E., Yahia, M., Arroyo, I., & Bengs, C. (2017). Outdoor thermal comfort in public space in warm-humid Guayaquil, Ecuador. *International Journal of Biometeorology*, 62, 387–399. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1329-x>
- Junk, W., Cunha, C., Wantzen, K., Petermann, P., Strüssmann, C., Marques, M., & Adis, J. (2006). Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Aquatic Sciences*, 68, 278–309. <https://doi.org/10.1007/s00027-006-0851-4>
- Justino, S., Silva, R., Guerrini, I., Da Silva, R., & Simoes, D. (2024). Monitoring environmental degradation and spatial changes in vegetation and water resources in the Brazilian Pantanal. *Sustainability*, 17(1), 51. <https://doi.org/10.3390/su17010051>
- Kumar, S., Getirana, A., Libonati, R., Hain, C., Mahanama, S., & Andela, N. (2022). Changes in land use enhance the sensitivity of tropical ecosystems to fire-climate extremes. *Scientific Reports*, 12(1), 964. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05130-0>
- Lázaro, W., Oliveira-Júnior, E., Silva, C., Castrillon, S., & Muniz, C. (2020). Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: An overview of the Northern Pantanal water regime. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, e104. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x7619>
- Liévano-Latorre, L. F., de Almeida-Rocha, J. M., Akama, A., Almeida, H. A.,

- Andrade, R. T. G., dos Anjos, M. R., Antonini, Y., Bahia, T. O., Barbosa, F. R., Barbosa, R. I., Barros, C. F., Bergallo, H. G., Brabo, L. S., Camilo, A. R., Capellão, R., Carpanedo, R. de S., Castilho, C. V., Cavalheiro, L., Cerqueira, R., Cordeiro, C. L., ... Loyola, R. (2025). Addressing the urgent climate and biodiversity crisis through strategic ecosystem restoration in Brazil. *Biological Conservation*, 302, 110972. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110972>
- Liu, H., Mi, Z., Lin, L., Wang, Y., Zhang, Z., Zhang, F., Wang, H., Liu, L., Zhu, B., Cao, G., Zhao, X., Sanders, N., Classen, A., Reich, P., & He, J. (2018). Shifting plant species composition in response to climate change stabilizes grassland primary production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 4051–4056. <https://doi.org/10.1073/pnas.1700299114>
- Louzada, R., Bergier, I., & Assine, M. (2020). Landscape changes in avulsive river systems: Case study of Taquari River on Brazilian Pantanal wetlands. *Science of the Total Environment*, 723, 138067. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138067>
- Maia, P., Ruas, Á., & Bitencourt, D. (2015). Wet-bulb globe temperature index estimation using meteorological data from São Paulo State, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 59, 1395–1403. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0949-7>
- Martins, P. I., Belém, L. B. C., Szabo, J. K., Libonati, R., & Garcia, L. C. (2022). Prioritising areas for wildfire prevention and post-fire restoration in the Brazilian Pantanal. *Ecological Engineering*, 176, 106517. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106517>
- Mato Grosso do Sul. (2009). *Zoneamento Ecológico-Econômico de Mato Grosso do Sul: 1ª aproximação*. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Planejamento, Ciência e Tecnologia. <http://www.semadesc.ms.gov.br/wp-content/uploads/2020/08/Consolida%C3%A7%C3%A3o-ZEE-1%C2%AA-Aproxima%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- Mato Grosso do Sul. (2015). *Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Mato Grosso do Sul: Consolidação – 2ª aproximação*. Secretaria de Estado

de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico – SEMADE; Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul – IMASUL.
<http://www.imasul.ms.gov.br/zee>

Matzarakis, A., & Mayer, H. (1996). Another kind of environmental stress: Thermal stress. *WHO Newsletter*, 18(January 1996), 7–10.

McGuire, J., Lawler, J., McRae, B., Nuñez, T., & Theobald, D. (2016). Achieving climate connectivity in a fragmented landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, 7195–7200.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1602817113>

Merino, É., & Assine, M. (2019). Hidden in plain sight: How finding a lake in the Brazilian Pantanal improves understanding of wetland hydrogeomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(2), 440–458.
<https://doi.org/10.1002/esp.4745>

Milien, E., Nunes, G., Pierre, G., Hamilton, S., & Cunha, C. (2023). Hydrological dynamics of the Pantanal, a large tropical floodplain in Brazil, revealed by analysis of Sentinel-2 satellite imagery. *Water*, 15(12), 2180.
<https://doi.org/10.3390/w15122180>

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). (2023). *Nota Técnica nº 762/2023-MMA: Avaliação técnica de denúncias sobre normatizações a nível estadual que facilitam mudanças na cobertura vegetal, drenagem e outros processos que afetam negativamente a biodiversidade no Pantanal e contribuem para o aumento das emissões de gases de efeito estufa causadores das mudanças do clima*. Secretaria Nacional de Biodiversidade, Florestas e Direitos Animais, Departamento de Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade.
https://sei.mma.gov.br/sei/documento_conferir.php?id_orgao_acesso_exter_no=0&id_documento=1631104&infra_sistema=100000100

MUPAN – Mulheres em Ação no Pantanal (Ed.). (2025). *Recuperação do Pantanal: um guia prático para a restauração ecológica* (1ª ed., livro eletrônico). Campo Grande, MS: MUPAN. <https://www.wwf.org.br>

- Neto, N., & Evangelista, H. (2022). Human activity behind the unprecedented 2020 wildfire in Brazilian wetlands (Pantanal). *Frontiers in Environmental Science*, 10, 888578. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.888578>
- Penatti, N., Almeida, T., Ferreira, L., Arantes, A., & Coe, M. (2015). Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. *Remote Sensing of Environment*, 170, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.031>
- Pereira, G., Ramos, R., Rocha, L., Brunsell, N., Merino, É., Mataveli, G., & Cardozo, F. (2021). Rainfall patterns and geomorphological controls driving inundation frequency in tropical wetlands: How does the Pantanal flood? *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 45(5), 669–686. <https://doi.org/10.1177/0309133320987719>
- Pilon, N. A. L., & Durigan, G. (2013). Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, 41(99), 389–399. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr99/cap10.pdf>
- Pinho, J., Aragona, M., Hakamada, K., & Marini, M. (2017). Migration patterns and seasonal forest use by birds in the Brazilian Pantanal. *Bird Conservation International*, 27(3), 371–387. <https://doi.org/10.1017/S0959270916000290>
- Pott, A., & Pott, V. J. (2004). Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. *Wetlands Ecology and Management*, 12, 547–552. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-1754-1>
- Prance, G., & Schaller, G. (1982). Preliminary study of some vegetation types of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. *Brittonia*, 34(2), 228–251. <https://doi.org/10.2307/2806383>
- Prasad, P., & Satyanarayana, A. (2024). Assessment of universal thermal climate index (UTCI) using the WRF-UCM model over a metropolitan city in India. *International Journal of Biometeorology*, 68(9), 1857–1870. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02714-5>

- Ribeiro, I., Amorim, J., Júnior, A., & Zanella, M. (2023). Impact of urban vegetation on thermal comfort in the tropical coastal city of Fortaleza. *XVII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, 17, 1–6. <https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.4245>
- Roque, F., Ochoa-Quintero, J., Ribeiro, D., Sugai, L., Costa-Pereira, R., Lourival, R., & Bino, G. (2016). Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. *Conservation Biology*, 30(5), 1131–1134. <https://doi.org/10.1111/cobi.12713>
- Schrapffer, A., Polcher, J., Sörensson, A., & Fita, L. (2023). Introducing a new floodplain scheme in ORCHIDEE (version 7885): Validation and evaluation over the Pantanal wetlands. *Geoscientific Model Development*, 16(20), 5755–5782. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-5755-2023>
- Schulz, C., Whitney, B., Rossetto, O., Neves, D., Crabb, L., Oliveira, E., Lima, P., Afzal, M., Laing, A., Fernandes, L., Silva, C., Steinke, V., Steinke, E., & Saito, C. (2019). Physical, ecological and human dimensions of environmental change in Brazil's Pantanal wetland: Synthesis and research agenda. *Science of the Total Environment*, 687, 1011–1027. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.023>
- Schwerdtfeger, J., Hartmann, A., & Weiler, M. (2016). A tracer-based simulation approach to quantify seasonal dynamics of surface-groundwater interactions in the Pantanal wetland. *Hydrological Processes*, 30(15), 2590–2602. <https://doi.org/10.1002/hyp.10904>
- Silio-Calzada, A., Barquín, J., Huszar, V. L., Mazzeo, N., Méndez, F., & Álvarez-Martínez, J. M. (2017). Long-term dynamics of a floodplain shallow lake in the Pantanal wetland: Is it all about climate? *Science of the Total Environment*, 605, 527–540. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.183>
- Silva, C., Morais, M., Buttaka, C., Oliveira, S., Lázaro, W., Santos, C., Vitorino, B., Junior, E., & Nunes, J. (2022). Do conceito de pulso de inundação às mudanças climáticas: Uma análise da pesquisa em limnologia no Pantanal brasileiro. *Ecologia Australis*. <https://doi.org/10.4257/oeco.2022.2602.06>

- Silva, J. D. S. V., & de Moura Abdon, M. (1998). Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33(13), 1703–1711.
https://www.academia.edu/download/69809413/Delimitao_do_Pa_Brasileiro_e_suas_20210917-11099-e8tcgf.pdf
- Souza, C., Shimbo, J., Rosa, M., Parente, L., Alencar, A., Rudorff, B., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L., Filho, P., Oliveira, S., Franca-Rocha, W., Fonseca, A., Marques, C., Diniz, C., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E., Vélez-Martin, E., Weber, E., ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- Stevaux, J. C., de Azevedo Macedo, H., Assine, M. L., & Silva, A. (2020). Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. *Geomorphology*, 350, 106906. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106906>
- Thielen, D., Ramoni-Perazzi, P., Puche, M., Márquez, M., Quintero, J., Rojas, W., Soto-Werschitz, A., Thielen, K., Nunes, A., & Libonati, R. (2021). The Pantanal under siege—On the origin, dynamics and forecast of the megadrought severely affecting the largest wetland in the world. *Water*, 13(21), 3034. <https://doi.org/10.3390/w13213034>
- Thielen, D., Schuchmann, K., Ramoni-Perazzi, P., Márquez, M., Rojas, W., Quintero, J., & Marques, M. (2020). Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. *PLoS ONE*, 15(1), e0227437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227437>
- Tomlinson, S., Webber, B., Bradshaw, S., Dixon, K., & Renton, M. (2018). Incorporating biophysical ecology into high-resolution restoration targets: Insect pollinator habitat suitability models. *Restoration Ecology*, 26(2), 338–347. <https://doi.org/10.1111/rec.12561>
- UNGA – United Nations General Assembly. (2019, March 1). United Nations

Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030) (Resolution A/RES/73/284).
<https://docs.un.org/en/A/RES/73/284>

Vázquez, F., Le Polain de Waroux, Y., Moyano, B. de M., Fonseca, G. P. da S., & Ribeiro, M. A. (2021). Compounded crises, investments, and future land use change in the Pantanal. Documento técnico preparado para o WWF Paraguai.
https://www.lendevlab.com/uploads/1/0/7/0/107005033/vazquez_et_al._2021.pdf

Wang, P., Heijmans, M., Mommer, L., Van Ruijven, J., Maximov, T., & Berendse, F. (2016). Belowground plant biomass allocation in tundra ecosystems and its relationship with temperature. *Environmental Research Letters*, 11(5), 055003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/055003>

Wanner, S. P., Bitencourt, D. P., Teixeira-Coelho, F., & Prímola-Gomes, T. N. (2025). Consequences of climate change on human health and performance and mitigation strategies in Brazil. *Temperature: Multidisciplinary Biomedical Journal*, 12(1), 85–87. <https://doi.org/10.1080/23328940.2025.2459997>

Yang, Y., Klein, J., Winkler, D., Peng, A., Lazarus, B., Germino, M., Suding, K., Smith, J., & Kueppers, L. (2020). Warming of alpine tundra enhances belowground production and shifts community towards resource acquisition traits. *Ecosphere*, 11(10), e03270. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3270>

Zhang, X., Zhang, Z., & Song, S. (2021). Modulation of vegetation restoration on outdoor thermal comfort over the Loess Plateau, China from 1982 to 2015. *Environmental Research Communications*, 3(1), 015002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/abdae1>

PARTE 3

CAPÍTULO 4

ECOLOGIA DA RESTAURAÇÃO E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES EM UM CENÁRIO DE INCERTEZAS NO PANTANAL

Resumo

Este capítulo apresenta uma síntese integrada das principais discussões desenvolvidos ao longo deste trabalho. A Ecologia da Restauração é abordada como um campo em constante evolução, que amplia seu foco para além da recuperação ecológica, incorporando dimensões sociais, culturais, éticas e climáticas. A resiliência ecológica, baseada em atributos como diversidade, conectividade e adaptabilidade, emerge como elemento central para o sucesso das intervenções, especialmente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelas pressões antrópicas. Estratégias na restauração com base em condições históricas e a adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) são destacadas como caminhos promissores. A inclusão de conhecimentos tradicionais de Povos Indígenas e Comunidades Locais reforça a dimensão socioecológica das ações. A análise de caso no Pantanal, com foco na sub-região de Miranda, evidencia a vulnerabilidade das áreas de transição entre planície e planalto ao estresse térmico e à perda de biodiversidade. A integração de dados topoclimáticos, indicadores de estresse térmico humano e critérios socioambientais demonstrou-se essencial para a definição de áreas prioritárias para restauração, com impactos positivos esperados para o bem-estar humano e a justiça ambiental.

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos, Biodiversidade, SIG, Povos e Comunidades Tradicionais, Políticas Públicas, Conectividade Ecológica.

1. Ecologia da Restauração: Um Campo em Evolução

A Ecologia da Restauração emergiu como um campo científico interdisciplinar impulsionado pela crescente necessidade de recuperar ambientes degradados (Rodrigues et al., 2015; Tedesco et al., 2023). Sua definição, inicialmente focada na aceleração da recuperação de ecossistemas para seu estado anterior à perturbação (SER, 2004), evoluiu para incorporar aspectos holísticos, abrangendo dimensões históricas, sociais, políticas, culturais, estéticas e morais (Higgs et al., 2018; Engel & Parrota, 2003). Essa evolução reflete um entendimento mais amplo da restauração, que não se limita apenas à recuperação ecológica, mas também considera os valores e crenças das comunidades (Martin, 2017).

Apesar dos avanços conceituais, a integração de diferentes disciplinas na pesquisa em ecologia da restauração ainda é um desafio (Seddon et al., 2020). O campo enfrenta a complexidade da evolução contínua dos ecossistemas, impactada por fatores como invasões de espécies, mudanças climáticas, uso da terra e alterações nos ciclos biogeoquímicos (Rillig et al., 2019; Ma et al., 2021; Alexandra, 2022). As mudanças climáticas, em particular, afetam diretamente os serviços ecossistêmicos, modificando os padrões de precipitação e temperatura (Runting et al., 2017; Peng et al., 2020).

A importância da restauração ecológica tem sido cada vez mais reconhecida na agenda política global, exemplificada pela Década das Nações Unidas para a Restauração de Ecossistemas (2021–2030) e seu alinhamento com as metas da COP 15 (UNGA, 2019; CDB, 2012; 2016; 2022; Lerambert, 2022). Estudos recentes demonstram o potencial da restauração florestal para a mitigação das mudanças climáticas, com projeções de sequestro significativo de carbono e redução do aumento da temperatura global (Littleton et al., 2021; Ferrier, 2020; Strassburg et al., 2020). No entanto, é crucial evitar que esse foco no sequestro de carbono limite a compreensão da complexidade multifacetada da restauração (Capítulo 1).

2. Resiliência Ecológica às Condições Climáticas Futuras

A integração da resiliência nas práticas de restauração é fundamental para o sucesso a longo prazo dos ecossistemas frente às mudanças

climáticas (Stefanes et al., 2016; Ren & Coffman, 2023). Aprimorar a resiliência envolve focar em atributos biológicos, químicos e físicos como diversidade, conectividade e adaptabilidade, aplicáveis em diversas escalas, desde o nível individual até o ecossistêmico (Timpane-Padgham et al., 2017; Gladstone-Gallagher et al., 2019; Moreno-Mateos et al., 2020; Ren & Coffman, 2023; Mori, 2016; Oliver et al., 2015). Estratégias como a procedência ajustada ao clima, que utiliza a variabilidade genética de plantas, podem aumentar a adaptabilidade dos esforços de restauração (Prober et al., 2015; Gross et al., 2017; Carvalho et al., 2020; Walters et al., 2022).

Experiências de campo, como as florestas de pinheiros Ponderosa nos EUA, demonstram que a restauração baseada em condições históricas pode aumentar a resiliência, reduzindo riscos de incêndio e mortalidade de árvores (Stoddard et al., 2021). Similarmente, tratamentos de restauração podem reduzir a extensão de incêndios de alta severidade e reverter perdas no escoamento anual, mesmo sob condições de mudanças climáticas (O'Donnell et al., 2018; He et al., 2019).

A diversidade de espécies vegetais é crucial para o sucesso da restauração, e a obtenção de germoplasma que capitalize a diversidade genética garante ecossistemas mais adequados às futuras condições climáticas (Prober et al., 2015; Vitt et al., 2022). Isso inclui a utilização de modelos adaptativos de vegetação que integram projeções climáticas e saúde do solo, focando na restauração funcional e na seleção de espécies nativas locais (Dharmawan et al., 2024).

O envolvimento da comunidade e o monitoramento abrangente são indispensáveis para uma restauração eficaz (Druschke & Hychka, 2015; Grimm et al., 2024). O conhecimento tradicional de Povos Indígenas e Comunidades Locais é valioso para o manejo de ecossistemas e a manutenção de práticas ancestrais, que por sua vez, aumentam a resiliência socioecológica das áreas restauradas (Melo e Saito, 2013; Reyes-García et al., 2019; Kandal et al., 2021). A integração desses saberes, juntamente com a expansão dos indicadores de monitoramento para incluir dimensões socioecológicas, fortalece a capacidade de enfrentar os desafios das mudanças climáticas (Belgacem et al., 2019; Issoufou et al., 2020).

3. Restauração Ecológica: Perspectivas Atuais e Futuras

As estratégias de conservação e restauração estão migrando de intervenções passivas para abordagens mais ativas, como a reintrodução de espécies selvagens e o fluxo gênico assistido (Gann et al., 2019; Suding et al., 2024). A reintrodução de grandes predadores, como lobos em Yellowstone, demonstrou o impacto nas cascatas tróficas e na recuperação de ecossistemas ribeirinhos (Beschta e Ripple, 2009; 2012). Isso ressalta a necessidade de uma abordagem holística na restauração ecológica, que considere as complexas interdependências em toda a paisagem, incluindo interações fauna-flora e componentes físicos e biológicos (Fu et al., 2023).

Um desafio contemporâneo é a incorporação desses mecanismos causais e cadeias de processos na estrutura da restauração do ecossistema (Natsukawa e Sergio, 2022). A aplicação de corretivos de solo, como a celulose, e a inoculação com comunidades microbianas, são exemplos de estratégias que promovem o crescimento de táxons microbianos e melhoram a capacidade de armazenamento de carbono (Barber et al., 2017; Docherty e Gutknecht, 2019). Práticas como queimadas e roçadas também impactam as comunidades microbianas do solo, influenciando a diversidade bacteriana e fúngica (Zhu et al., 2020). Estratégias futuras devem focar na diversidade funcional microbiana do solo para aumentar a resiliência dos ecossistemas e sincronizar a biodiversidade acima e abaixo do solo (Aerts & Honnay, 2011).

As interdependências solo-água são cruciais para a restauração, e o sensoriamento remoto, como o SAR, pode informar estratégias para mitigar emissões e identificar áreas com baixa resiliência à seca (Swails et al., 2018; Strassburg et al., 2020; Lees et al., 2020; Toca et al., 2022; Burdun et al., 2020). Em larga escala, a restauração enfrenta desafios de custos e recursos, exigindo estratégias que equilibrem resiliência ecológica e viabilidade econômica (Stefanes et al., 2016).

A seleção de espécies é um elemento chave para uma restauração resiliente ao clima. Para recifes de corais, ferramentas como o CBASS ajudam a identificar genótipos termotolerantes (Voolstra et al., 2020; Evensen et al., 2023). Na restauração de ervas marinhas, a profundidade é um fator crítico para a resiliência ao estresse térmico (Aoki et al., 2020). A restauração

de habitats marinhos e florestais, incluindo o uso de Refúgios para Mudanças Climáticas (CCR), aumenta a biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas (Coleman et al., 2020; Pradhan et al., 2023).

A restauração está mudando seu foco de uma escala local para regional e, agora, para um cenário de incerteza climática, incorporando questões de resiliência (Capítulo 1). Estruturas metodológicas que enfatizam a colaboração interdisciplinar, estabelecimento de metas e otimização do crescimento do ecossistema são essenciais (Miller et al., 2017; Ren & Coffman, 2023). A seleção de locais prioritários para restauração, com base em topoclimas de baixa resiliência ao estresse térmico e alta vulnerabilidade, é crucial (Chambers et al., 2023). Isso porque os cenários de mudanças climáticas apontam para um agravamento dos extremos de temperaturas, sendo tendencialmente marcante o aumento de temperatura em faixas tropicais, correspondendo então a uma variável crítica a ser considerada em estratégias de restauração (Capítulo 1). Mapas de estresse térmico, usando modelos como URbCLim, UTCI e WBGT, podem guiar o planejamento urbano e as soluções baseadas na natureza (García-Blanco et al., 2023). O estudo de Ardestani et al. (2021) no Irã, utilizando modelagem de nicho ecológico, demonstra a importância da identificação precisa de habitats para o sucesso da restauração sob condições climáticas futuras.

4. Estudo de Caso: Implicações para o Pantanal

A análise das condições climáticas e do uso do solo em Wieliczka, comparada aos achados do Pantanal, demonstra a influência da vegetação no conforto térmico e a vulnerabilidade de áreas urbanas densas ao estresse térmico. Em Wieliczka, constatou-se que áreas urbanas apresentam os maiores valores de UTCI e menor variação interna, indicando condições biotérmicas desfavoráveis (Capítulo 2). A baixa permeabilidade do solo urbano, com mais de 70% de superfícies limitadas ou impermeáveis, contribui significativamente para o aumento do UTCI e impactos climáticos negativos. Em contraste, áreas rurais e vegetadas, com alta permeabilidade, exibem menor estresse térmico, sugerindo que a redução da densidade urbana e a introdução de vegetação podem melhorar o conforto térmico local, mesmo em

climas quentes. A diferença de temperatura pode chegar a quase 8°C entre áreas urbanas e vegetadas, e uma permeabilidade da superfície de no mínimo 50% pode reduzir significativamente o estresse térmico (Capítulo 2).

No Pantanal, a predominância de topoclimas frescos e moderadamente quentes coexiste com zonas críticas de topoclimas quentes, que representam áreas de elevada exposição térmica e suscetibilidade à perda de habitat (Capítulo 3). O avanço do desmatamento no Cerrado e os impactos indiretos da Amazônia intensificam incêndios e afetam os ciclos hidrológicos e as comunidades tradicionais no Pantanal (Roque et al., 2016; Boin et al., 2019; Guerra et al., 2020b; Bergier et al., 2018; Berlinck et al., 2021; Neto & Evangelista, 2022; Chiaravalloti et al., 2021; Silva et al., 2022). Projeções indicam perda contínua de vegetação nativa, especialmente em áreas de transição entre planalto e planície, que são cruciais para ganhos de biodiversidade e conectividade ecológica (Guerra et al., 2020b; Liévano-Latorre et al., 2025).

A priorização da restauração em zonas topoclimáticas quentes no Pantanal, como a sub-região de Miranda, que concentra quase 48% da área crítica com estresse térmico elevado, é fundamental (Capítulo 3). A presença de faixas logarítmicas elevadas de radiação solar incidente e baixa refletância agrava o efeito de ilhas de calor, tornando a vegetação essencial para amortecer o microclima e promover a regulação hídrica e climática (Ikeda-Castrillon et al., 2022). A restauração nessas áreas pode aumentar a conectividade ecológica e o estoque de carbono atmosférico (Liévano-Latorre et al., 2025). O alto grau de ocupação antrópica nessas áreas prioritárias, com pastagens e mosaicos de uso, reforça a importância da restauração para a reconversão produtiva e mitigação de impactos (Capítulo 3). Além disso, a priorização de áreas com vegetação sensível ao fogo e alto risco de incêndios extremos, especialmente florestas ripárias, é uma medida estratégica (Martins et al., 2022). A modelagem de superfície terrestre que incorpora explicitamente planícies alagáveis, como no Pantanal, é fundamental para orientar ações de restauração climática adaptativa (Schrapffer et al., 2020).

A análise do estresse térmico humano no Pantanal, com base nos índices UTCI e WBGT, revelou que mais de 90% da área foco em Miranda já apresenta condição de estresse térmico “muito forte” nos cenários atuais e

projetados, superando os limites fisiológicos para atividades ao ar livre (Wanner et al., 2025; Borges et al., 2020). O uso de espécies nativas de copa ampla pode reduzir a temperatura superficial e criar refúgios térmicos (Abreu-Harbich et al., 2015; Johansson et al., 2017; Ribeiro et al., 2023).

A seleção da sub-região de Miranda como foco estratégico foi pautada na sobreposição entre áreas críticas de estresse térmico e a presença de Terras Indígenas vulneráveis (Taunay/Ipegue e Cachoeirinha), onde a maioria dos focos de calor é registrada (Cimi, 2024). Isso demonstra a importância da restauração como política de justiça ambiental e a necessidade de articulação com comunidades locais e produtores rurais, já que a maior parte das áreas prioritárias para prevenção e restauração está fora de unidades de conservação da natureza e Terras Indígenas (Martins et al., 2022).

A diversidade de espécies nativas do Pantanal, incluindo aquelas ameaçadas de extinção e com polinização por abelhas e dispersão zoocórica, reforça o potencial conservacionista da restauração ao reativar interações ecológicas e promover conectividade (Pilon & Durigan, 2013; Gonçalves et al., 2024). A seleção de espécies baseada em atributos ecológicos, como copa ampla e dispersão eficiente, pode acelerar a reestruturação da comunidade vegetal (Pilon & Durigan, 2013). A urgência da criação de um banco de sementes funcional e georreferenciado para o Pantanal também é destacada (Gonçalves et al., 2024).

No Brasil, entre 2018 e 2021, 997 coletores de sementes — 46% de grupos socialmente marginalizados — obtiveram mais de US\$1,01 milhão com a venda de sementes, sendo que quase um quarto deles depende exclusivamente dessa atividade (Padovezi et al., 2024). Além dos ganhos econômicos, destaca-se o papel transformador dessas redes na valorização do trabalho feminino, com mulheres representando a maioria dos coletores em algumas regiões (Urzedo et al., 2020), e no fortalecimento da atuação de jovens e lideranças locais.

Essas iniciativas também impulsionam inovações sociais e políticas ao mobilizar conhecimentos tradicionais, fomentar a autonomia territorial e viabilizar modelos de restauração que respeitam os contextos ecológicos e socioculturais (Urzedo et al., 2021). Assim, políticas públicas voltadas à restauração no Pantanal devem considerar a importância dessas redes como

agentes estruturantes de um modelo de desenvolvimento mais justo, resiliente e inclusivo. A integração de dados topoclimáticos, indicadores de estresse térmico e critérios socioambientais é fundamental para orientar políticas públicas de Soluções Baseadas na Natureza (SbN), proteção de nascentes e fortalecimento de brigadas comunitárias (Garcia et al., 2021; Barros et al., 2022). A Lei Nº 6.160/2023 no Mato Grosso do Sul representa um avanço, mas sua efetividade dependerá da capacidade de transpor barreiras de implementação, exigindo planejamento territorial refinado e participação ativa das comunidades locais (Barros-Rosa et al., 2025).

A área escolhida no estudo de caso, a sub-região de Miranda, representa uma zona de transição entre planalto e planície. Essa característica, aliada aos dados de estresse térmico e vulnerabilidade socioambiental, a torna um local estratégico para intervenções de restauração.

5. Conclusão

A Ecologia da Restauração tem se consolidado como um campo científico fundamental e em constante evolução, expandindo seu escopo de uma prática meramente técnica para uma abordagem holística que integra dimensões ecológicas, sociais, culturais e econômicas. O reconhecimento global da sua importância, evidenciado pela Década da ONU para a Restauração de Ecossistemas, reforça seu papel crucial na agenda ambiental contemporânea, especialmente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

A construção da resiliência nos ecossistemas restaurados é um pilar central para garantir sua sustentabilidade a longo prazo. Isso exige uma compreensão aprofundada dos atributos biológicos, químicos e físicos que conferem adaptabilidade, diversidade e conectividade. A integração de conhecimento científico avançado, novas tecnologias como o sensoriamento remoto, e, crucialmente, os saberes tradicionais de comunidades locais e Povos Indígenas é imperativa. Tais abordagens não só aprimoram os resultados ecológicos, mas também promovem a justiça ambiental e a resiliência socioecológica.

O estudo de caso no Pantanal ilustra vividamente a urgência e a complexidade da restauração em um cenário de vulnerabilidade climática e antrópica. A identificação de zonas de transição e áreas de alto estresse térmico como prioritárias para intervenções direcionadas sublinha a necessidade de estratégias baseadas em evidências. A escolha de espécies nativas resilientes, o manejo integrado do fogo e a colaboração multi-institucional são elementos essenciais para o sucesso em larga escala.

Em um contexto de incertezas climáticas crescentes, a restauração ecológica emerge não apenas como uma ferramenta para reverter a degradação ambiental, mas como um motor para forjar um futuro mais resiliente e equitativo. Para maximizar seu potencial, é fundamental que as políticas públicas sejam alinhadas com os avanços científicos, garantindo que a implementação das estratégias de restauração seja adaptativa, financeiramente viável e profundamente enraizada na participação comunitária. O desafio, agora, reside em transformar o conhecimento e o potencial da restauração em ações concretas e eficazes em todas as escalas.

7. REFERÊNCIAS

- Abreu-Harbich, L., Labaki, L., & Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, 138, 99–109. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2015.02.008>.
- Aerts, R., & Honnay, O. (2011). Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC Ecology*, 11, 29. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-29>
- Alexandra, J. (2022). Designer ecosystems for the Anthropocene—Deliberately creating novel ecosystems in cultural landscapes. *Sustainability*, 14(7), 3952. <https://doi.org/10.3390/su14073952>
- Aoki, L. R., McGlathery, K. J., Wiberg, P. L., & Al-Haj, A. (2020). Depth affects seagrass restoration success and resilience to marine heat wave disturbance. *Estuaries and Coasts*, 43, 316–328.

<https://doi.org/10.1007/s12237-019-00685-0>

- Ardestani, E. G., Rigi, H., & Honarbakhsh, A. (2021). Predicting optimal habitats of *Haloxylon persicum* for ecosystem restoration using ensemble ecological niche modeling under climate change in southeast Iran. *Restoration Ecology*, 29(6), e13492. <https://doi.org/10.1111/rec.13492>
- Barber, N. A., Chantos-Davidson, K. M., Peralta, R. A., Sherwood, J. P., & Swingley, W. D. (2017). Soil microbial community composition in tallgrass prairie restorations converge with remnants across a 27-year chronosequence. *Environmental Microbiology*, 19, 3118–3131. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13785>
- Barros, A. E., Morato, R. G., Fleming, C. H., Pardini, R., Oliveira-Santos, L. G. R., Tomas, W. M., Kantek, D. L. Z., Tortato, F. R., Fragoso, C. E., Azevedo, F. C. C., Thompson, J. J., & Prado, P. I. (2022). Wildfires disproportionately affected jaguars in the Pantanal. *Communications Biology*, 5(1), 1028. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03937-1>
- Barros-Rosa, L., Peluso, L. M., Lemes, P., Johnson, M. S., Dalmagro, H. J., da Cunha, C. N., Zanella de Arruda, P. H., Mateus, L., & Penha, J. (2025). The ineffectiveness of current environmental and fire policies in the world's largest wetland. *Environmental Research Letters*, 20(3), 034039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/adb7f5>
- Belgacem, A. O., Salem, F. B., Gamoun, M., Chibani, R., & Louhaichi, M. (2019). Revival of traditional best practices for rangeland restoration under climate change in the dry areas. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 11, 643–659. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2018-0019>
- Bergier, I., Assine, M., McGlue, M., Alho, C., Silva, A., Guerreiro, R., & Carvalho, J. (2018). Amazon rainforest modulation of water security in the Pa wetland. *Science of the Total Environment*, 619–620, 1116–1125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.163>
- Berlinck, C., Lima, L., Pereira, A., Carvalho, E., Paula, R., Thomas, W., &

- Morato, R. (2021). The Pantanal is on fire and only a sustainable agenda can save the largest wetland in the world. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e244200. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.244200>
- Beschta, R. L., & Ripple, W. J. (2009). Large predators and trophic cascades in terrestrial ecosystems of the western United States. *Biological Conservation*, 142(11), 2401–2414.
- Beschta, R. L., & Ripple, W. J. (2012). The role of large predators in maintaining riparian plant communities and river morphology. *Geomorphology*, 157–158, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.042>
- Boin, M., Martins, P., Silva, C., & Salgado, A. (2019). Pantanal: the Brazilian wetlands. *The Physical Geography of Brazil: Environment, Vegetation and Landscape*, 75–91. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_5.
- Borges, V. C. A. L., Callejas, I. J. A., & Durante, L. C. (2020). Thermal sensation in outdoor urban spaces: A study in a Tropical Savannah climate, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 64, 533–545. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01830-x>.
- Burdun, I., Bechtold, M., Sagris, V., Komisarenko, V., De Lannoy, G., & Mander, Ü. (2020). A comparison of three trapezoid models using optical and thermal satellite imagery for water table depth monitoring in Estonian bogs. *Remote Sensing*, 12, 1980. <https://doi.org/10.3390/rs12121980>
- Carvalho, C. S., Forester, B. R., Mitre, S. K., Alves, R., Imperatriz-Fonseca, V. L., Ramos, S. J., Resende-Moreira, L. C., Siqueira, J. O., Trevelin, L. C., Caldeira, C. F., Gastauer, M., & Jaffé, R. (2020). Combining genotype, phenotype, and environmental data to delineate site-adjusted provenance strategies for ecological restoration. *Molecular Ecology Resources*, 21, 44–58. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13191>
- Chambers, J. C., Brown, J. L., Bradford, J. B., Board, D. I., Campbell, S. B., Clause, K. J., Hanberry, B., Schlaepfer, D. R., & Urza, A. K. (2023). New indicators of ecological resilience and invasion resistance to support prioritization and management in the Sagebrush Biome, United States.

Frontiers in Ecology and Evolution, 10, 1009268.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1009268>

Chiaravalloti, R., Freitas, D., Souza, R., Biswas, S., Markos, A., Manfroí, M., & Dyble, M. (2021). Resilience of social-ecological systems: Drastic seasonal change is associated with economic but not social flexibility among fishers in the Brazilian Pantanal. *Ecology and Society*, 26(2).
<https://doi.org/10.5751/ES-12433-260230>.

Cimi - Conselho Indigenista Missionário. (2024, outubro 1). Em processo de demarcação, terra indígena ocupada por fazendas de gado arde em chamas no Pantanal. <https://cimi.org.br/2024/10/ti-cachoerinha-queimadas-pantanal/>

Coleman, M. A., Wood, G., Filbee-Dexter, K., Minne, A., Goold, H. D., Vergés, A., Marzinelli, E., Steinberg, P. D., & Wernberg, T. (2020). Restore or redefine: Future trajectories for restoration. *Frontiers in Marine Science*, 7, 237. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00237>

Dharmawan, I. W. S., Lisnawati, Y., Siahaan, H., Premono, B. T., Iqbal, M., Junaedi, A., Sakuntaladewi, N., Bastoni, F., Ridwan, R., Ramawati, N., Nugroho, A. W., Undaharta, N. K. E., Achmadi, A. S., Setyawati, T., Siregar, C. A., Pratiwi, S., Suhartana, S., Soenarno, D., & Sukmana, A. (2024). Use of an adaptive-vegetation model to restore degraded tropical peat swamp forest to support climate resilience. *Land*, 13(9), 1377. <https://doi.org/10.3390/land13091377>

Docherty, K. M., & Gutknecht, J. L. M. (2019). Soil microbial restoration strategies for promoting climate-ready prairie ecosystems. *Ecological Applications*, 29(3), e01858. <https://doi.org/10.1002/eap.1858>

Druschke, C. G., & Hychka, K. C. (2015). Manager perspectives on communication and public engagement in ecological restoration project success. *Ecology and Society*, 20(1), 58. <https://doi.org/10.5751/ES-07451-200158>

Engel, V. L., & Parrota, J. A. (2003). O desenvolvimento do conceito de

restauração ecológica. In *Restauração ecológica de ecossistemas naturais* (pp. 1–26). Botucatu.

Evensen, N. R., Parker, K. E., Oliver, T. A., Palumbi, S. R., Logan, C. A., Ryan, J. S., Klepac, C. N., Perna, G., Warner, M. E., Voolstra, C. R., & Barshis, D. J. (2023). The Coral Bleaching Automated Stress System (CBASS): A low-cost, portable system for standardized empirical assessments of coral thermal limits. *Limnology and Oceanography: Methods*, 21(7), 421–434. <https://doi.org/10.1002/lom3.10555>

Ferrier, S. (2020). Prioritizing where to restore Earth's ecosystems. *Nature*, 586, 680–681. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02750-2>

Fu, B., Liu, Y., & Meadows, M. E. (2023). Ecological restoration for sustainable development in China. *National Science Review*, 10(7), nwad033. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwad033>

Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decleer, K., & Dixon, K. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>

Garcia, L. C., Martins, P. I., Libonati, R., Silva, M. A., Resende, F. M., Silva, M. S., & Roque, F. O. (2021). (Assumindo que a citação se refere a esta publicação da lista – favor confirmar).

García-Blanco, G., Navarro, D., & Feliu, E. (2023). Adopting resilience thinking through nature-based solutions within urban planning: A case study in the city of València. *Buildings*, 13(5), 1317. <https://doi.org/10.3390/buildings13051317>

Gladstone-Gallagher, R. V., Pilditch, C. A., Stephenson, F., & Thrush, S. F. (2019). Linking traits across ecological scales determines functional resilience. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(12), 1080–1091. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.07.010>

- Gonçalves, D. S., Oliveira, P. C., Gonçalves, S. R., Silveira, F. A., & Teixeira, A. L. (2024). Seeding the Pantanal: orchestrating research to overcome restoration barriers in the world's largest tropical wetland. *Restoration Ecology*, 32(5), e14148. <https://doi.org/10.1111/rec.14148>.
- Grimm, K. E., Archibald, J. L., Axelsson, E. P., & Grady, K. C. (2024). Moving social-ecological restoration forward: How mangrove project managers' perceptions of social monitoring and community engagement serve as a model for broader restoration efforts. *Restoration Ecology*, 33(1), e14273. <https://doi.org/10.1111/rec.14273>
- Gross, C. L., Fatemi, M., & Simpson, I. H. (2017). Seed provenance for changing climates: Early growth traits of nonlocal seed are better adapted to future climatic scenarios, but not to current field conditions. *Restoration Ecology*, 25(4), 577–586. <https://doi.org/10.1111/rec.12474>
- Guerra, A., Oliveira, P., Roque, F., Rosa, I., Ochoa-Quintero, J., Guariento, R., Colman, C., Dib, V., Maioli, V., Strassburg, B., & Garcia, L. (2020b). The importance of Legal Reserves for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses. *Journal of Environmental Management*, 260, 110128. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110128>.
- He, S., Qin, T., Liu, F., Liu, S., Dong, B., Wang, J., & Nie, H. (2019). Effects of slope ecological restoration on runoff and its response to climate change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 4017. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204017>
- Higgs, E., Harris, J., Murphy, S., Bowers, K., Hobbs, R., Jenkins, W., Kidwell, J., Lopoukhine, N., Sollereder, B., Suding, K., Thompson, A., & Whisenant, S. (2018). On principles and standards in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 26(3), 399–403. <https://doi.org/10.1111/rec.12691>
- Higgs, Eric, Harris, Jim, Murphy, Stephen, Bowers, Keith, Hobbs, Richard, Jenkins, Willis, Kidwell, Jeremy, Lopoukhine, Nikita, Sollereder, Bethany, Suding, Katherine, Thompson, Allen, and Whisenant, Steven. 2018. "On Principles and Standards in Ecological Restoration." *Restoration Ecology* 26 (3): 399-403. <https://doi.org/10.1111/rec.12691>.

- Ikeda-Castrillon, S. K., Almeida, L. R., Pereira, B. R., Costa, C. H., Pereira, R. S., Moura, F. B., & Oliveira, M. M. (2022). (Assumindo que a citação sobre UTCI se refere a essa publicação. Se não for, por favor corrija.)
- Issoufou, A. A., Soumana, I., Maman, G., Konate, S., & Mahamane, A. (2020). Dynamic relationship of traditional soil restoration practices and climate change adaptation in semi-arid Niger. *Heliyon*, 6, e03265. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03265>
- Kandal, H. A., Swart, J. A. A., Yacoub, H. A., & Gerkema, M. P. (2021). Engaging local communities in restoration projects: Reconsidering the role of traditional knowledge in Wadi Allaqi, Egypt. *Restoration Ecology*, 30(6), e13598. <https://doi.org/10.1111/rec.13598>
- Lees, K. J., Artz, R. R. E., Chandler, D., Aspinall, T., Boulton, C. A., Buxton, J., Cowie, N. R., & Lenton, T. M. (2020). Using remote sensing to assess peatland resilience by estimating soil surface moisture and drought recovery. *Science of the Total Environment*, 761, 143312. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143312>
- Lerambert, A. (2022). United Nations-Convention on Biological Diversity and COP15. *WellBeing News*, 4(7), 2.
- Liévano-Latorre, L. F., de Almeida-Rocha, J. M., Akama, A., Almeida, H. A., Andrade, R. T. G., dos Anjos, M. R., Antonini, Y., Bahia, T. O., Barbosa, F. R., Barbosa, R. I., Barros, C. F., Bergallo, H. G., Brabo, L. S., Camilo, A. R., Capellão, R., Carpanedo, R. de S., Castilho, C. V., Cavalheiro, L., Cerqueira, R., Cordeiro, C. L., ... Loyola, R. (2025). Addressing the urgent climate and biodiversity crisis through strategic ecosystem restoration in Brazil. *Biological Conservation*, 302, 110972. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110972>.
- Littleton, E. W., Dooley, K., Webb, G., Harper, A. B., Powell, T., Nicholls, Z., Meinshausen, M., & Lenton, T. M. (2021). Dynamic modelling shows substantial contribution of ecosystem restoration to climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 16(12), 124061. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3c6c>

- Ma, S., Wang, L. J., Jiang, J., Chu, L., & Zhang, J. C. (2021). Threshold effect of ecosystem services in response to climate change and vegetation coverage change in the Qinghai-Tibet Plateau ecological shelter. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128592. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116174>
- Martin, D. M. (2017). Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century. *Restoration Ecology*, 25, 668–673. <https://doi.org/10.1111/rec.12554>
- Martins, P. I., Belém, L. B. C., Szabo, J. K., Libonati, R., & Garcia, L. C. (2022). Prioritising areas for wildfire prevention and post-fire restoration in the Brazilian Pantanal. *Ecological Engineering*, 176, 106517. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106517>.
- Melo, M. M. de, & Saito, C. H. (2013). The practice of burning savannas for hunting by the Xavante Indians based on the stars and constellations. *Society & Natural Resources*, 26(4), 478–487. <https://doi.org/10.1080/08941920.2012.713087>
- Miller, B. P., Sinclair, E. A., Menz, M. H. M., Elliott, C. P., Bunn, E., Commander, L. E., Dalziell, E., David, E., Davis, B., Erickson, T. E., Golos, P. J., Krauss, S. L., Lewandrowski, W., Mayence, C. E., Merino-Martín, L., Merritt, D. J., Nevill, P. G., Phillips, R. D., Ritchie, A. L., Ruoss, S., & Stevens, J. C. (2017). A framework for the practical science necessary to restore sustainable, resilient, and biodiverse ecosystems. *Restoration Ecology*, 25. <https://doi.org/10.1111/rec.12475>
- Moreno-Mateos, D., Alberdi, A., Morriën, E., van der Putten, W. H., Rodríguez-Uña, A., & Montoya, D. (2020). The long-term restoration of ecosystem complexity. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 676–685. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1154-1>
- Mori, A. (2016). Resilience in the studies of biodiversity-ecosystem functioning. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(2), 87–89. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.12.010>

- Natsukawa, H., & Sergio, F. (2022). Top predators as biodiversity indicators: A meta-analysis. *Ecology Letters*, 25, 2062–2075. <https://doi.org/10.1111/ele.14077>
- Neto, N., & Evangelista, H. (2022). Human activity behind the unprecedented 2020 wildfire in Brazilian wetlands (Pantanal). *Frontiers in Environmental Science*, 10, 888578. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.888578>.
- O'Donnell, F. C., Flatley, W. T., Springer, A. E., & Fulé, P. Z. (2018). Forest restoration as a strategy to mitigate climate impacts on wildfire, vegetation, and water in semiarid forests. *Ecological Applications*, 28(6), 1459–1472. <https://doi.org/10.1002/eap.1746>
- Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J. B., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C. D. L., Petchey, O. L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K. B., Mace, G. M., Martín-López, B., Woodcock, B. A., & Bullock, J. M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(11), 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>
- Padovezi, A., Adams, C., Chazdon, R., Mendonça, M., Secco, L., Campos-Filho, E., Sampaio, A., Damasceno, E., Albuquerque, N., Santarem, F., Camargo, M., & Piña-Rodrigues, F. (2024). Native seed collector networks in Brazil: Sowing social innovations for transformative change. *People and Nature*. <https://doi.org/10.1002/pan3.10692>.
- Peng, J., Tian, L., Zhang, Z., Zhao, Y., Green, S. M., Quine, T. A., Liu, H., & Meersmans, J. (2020). Distinguishing the impacts of land use and climate change on ecosystem services in a karst landscape in China. *Ecosystem Services*, 46, 101199. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101199>
- Pilon, N. A. L., & Durigan, G. (2013). Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, 41(99), 389–399. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr99/cap10.pdf>
- Prober, S. M., Byrne, M., McLean, E. H., Steane, D. A., Potts, B. M., Vaillancourt, R. E., & Stock, W. D. (2015). Climate-adjusted provenancing: A

- strategy for climate-resilient ecological restoration. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 65. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00065>
- Ren, J. W. F., & Coffman, G. C. (2023). Integrating the resilience concept into ecosystem restoration. *Restoration Ecology*, 31(5), e13907. <https://doi.org/10.1111/rec.13907>
- Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., McElwee, P., Molnár, Z., Öllerer, K., Wilson, S. J., & Brondizio, E. S. (2019). The contributions of Indigenous Peoples and Local Communities to ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(1), 3–8. <https://doi.org/10.1111/rec.12894>
- Rillig, M. C., Lehmann, A., Rongstock, R., Li, H., & Harris, J. (2024). Moving restoration ecology forward with combinatorial approaches. *Global Change Biology*, 30(6), e17361. <https://doi.org/10.1111/gcb.17361>
- Rodrigues, R. R., Gandolfi, S., & Brancalion, P. H. S. (2015). *Restauração florestal*. Oficina de Textos.
- Roque, F., Ochoa-Quintero, J., Ribeiro, D., Sugai, L., Costa-Pereira, R., Lourival, R., & Bino, G. (2016). Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. *Conservation Biology*, 30(5), 1131–1134. <https://doi.org/10.1111/cobi.12713>.
- Runting, R. K., Bryan, B. A., Dee, L. E., Maseyk, F. J. F., Mandle, L., Hamel, P., Wilson, K. A., Yetka, K., Possingham, H. P., & Rhodes, J. R. (2017). Incorporating climate change into ecosystem service assessments and decisions: A review. *Global Change Biology*, 23(1), 28–41. <https://doi.org/10.1111/gcb.13457>
- Schrapffer, A., Polcher, J., Sörensson, A., & Fita, L. (2023). Introducing a new floodplain scheme in ORCHIDEE (version 7885): Validation and evaluation over the Pantanal wetlands. *Geoscientific Model Development*, 16(20), 5755–5782. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-5755-2023>.
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of*

the Royal Society B, 375(1794), 20190120.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>

SER – Society for Ecological Restoration. 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. Science and Policy Working Group, Second Version. Society for Ecological Restoration, Washington. Accessed April 6, 2023.
<http://floridalivingshorelines.com/wp-content/uploads/2015/05/Clewell.Aronson.Winterhalder.2004-SER-Primer.pdf>.

Silva, C., Morais, M., Buttaka, C., Oliveira, S., Lázaro, W., Santos, C., Vitorino, B., Junior, E., & Nunes, J. (2022). Do conceito de pulso de inundação às mudanças climáticas, uma análise da pesquisa em limnologia no Pantanal brasileiro. *Ecologia Australis*. <https://doi.org/10.4257/oeco.2022.2602.06>.

Stefanes, M., Ochoa-Quintero, J. M., Roque, F. O., Sugai, L. S. M., Tambosi, L. R., Lourival, R., & Laurance, S. (2016). Incorporating resilience and cost in ecological restoration strategies at landscape scale. *Ecology and Society*, 21(4), S4. <https://doi.org/10.5751/ES-08922-210454>

Stoddard, M. T., Roccaforte, J. P., Sánchez Meador, A. J., Huffman, D. W., Fulé, P. Z., Waltz, A. E. M., & Covington, W. W. (2021). Ecological restoration guided by historical reference conditions can increase resilience to climate change of southwestern U.S. ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 493, 119256. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2021.119256>

Strassburg, B. B. N., Iribarrem, A., Beyer, H. L., Cordeiro, C. L., Crouzeilles, R., Jakovac, C. C., Junqueira, A. B., Lacerda, E., Latawiec, A. E., Balmford, A., Brooks, T. M., Butchart, S. H. M., Chazdon, R. L., Erb, K.-H., Brancalion, P., Buchanan, G., Cooper, D., Díaz, S., Donald, P. F., Kapos, V., Leclère, D., Miles, L., Obersteiner, M., Plutzer, C., Scaramuzza, C. A. de M., Scarano, F. R., & Visconti, P. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586, 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>

Suding, K. N., Collins, C. G., Hallett, L. M., Larios, L., Brigham, L. M., Dudley, J., Farrer, E. C., Larson, J. E., Shackelford, N., & Spasojevic, M. J. (2024).

- Biodiversity in changing environments: An external-driver internal-topology framework to guide intervention. *Ecology*, 105(8), e4322. <https://doi.org/10.1002/ecy.4322>
- Swails, E., Yang, X., Asefi, S., Hergoualc'h, K., Verchot, L., McRoberts, R. E., & Lawrence, D. (2018). Linking soil respiration and water table depth in tropical peatlands with remotely sensed changes in water storage from the Gravity Recovery and Climate Experiment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 575–590. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9822-z>
- Tedesco, A. M., López-Cubillos, S., Chazdon, R., Mills, M., Santos, F. C., & Dean, A. J. (2023). Beyond ecology: Ecosystem restoration as a process for social-ecological transformation. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(7), 643–653. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.02.007>
- Timpane-Padgham, B. L., Beechie, T., & Klinger, T. (2017). A systematic review of ecological attributes that confer resilience to climate change in environmental restoration. *PLoS ONE*, 12(3), e0173812. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173812>
- UNGA – United Nations General Assembly. (2019). Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019: 73/284. United Nations Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030. <https://digitallibrary.un.org/record/3794317?ln=ru>
- Urzedo, D., Pedrini, S., Vieira, D., Sampaio, A., Souza, B., Campos-Filho, E., Piña-Rodrigues, F., Schmidt, I., Junqueira, R., & Dixon, K. (2021). Indigenous and local communities can boost seed supply in the UN decade on ecosystem restoration. *Ambio*, 51, 557 - 568. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01593-z>.
- Urzedo, D., Piña-Rodrigues, F., Feltran-Barbieri, R., Junqueira, R., & Fisher, R. (2020). Seed Networks for Upscaling Forest Landscape Restoration: Is It Possible to Expand Native Plant Sources in Brazil?. *Forests*, 11(3), 259. <https://doi.org/10.3390/f11030259>.
- Voolstra, C. R., Buitrago-López, C., Perna, G., Cárdenas, A., Hume, B. C. C.,

Rädecker, N., & Barshis, D. J. (2020). Standardized short-term acute heat stress assays resolve historical differences in coral thermotolerance across microhabitat reef sites. *Global Change Biology*, 26, 4328–4343. <https://doi.org/10.1111/gcb.15148>

Walters, S., Robinson, T., Byrne, M., & Nevill, P. (2022). Seed sourcing in the genomics era: Multispecies provenance delineation for current and future climates. *Restoration Ecology*, 30, e13718. <https://doi.org/10.1111/rec.13718>

Wanner, S. P., Bitencourt, D. P., Teixeira-Coelho, F., & Prímola-Gomes, T. N. (2025). Consequences of climate change on human health and performance and mitigation strategies in Brazil. *Temperature: Multidisciplinary Biomedical Journal*, 12(1), 85–87. <https://doi.org/10.1080/23328940.2025.2459997>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

A restauração ecológica, diante do avanço das mudanças climáticas, emerge como uma estratégia crucial para fortalecer a resiliência dos ecossistemas e promover o bem-estar humano. Os três estudos apresentados evidenciam que restaurar não se resume a recuperar funções ecológicas degradadas, mas também a antecipar e adaptar os territórios às condições climáticas futuras, integrando múltiplas dimensões (ecológica, climática e social).

O primeiro trabalho enfatiza a necessidade de repensar a restauração ecológica à luz da biodiversidade e da resiliência climática, com base em questões norteadoras que conectam restauração, conservação e cenários futuros. Destaca-se a urgência de modelos e abordagens capazes de responder aos impactos da crise climática e de contribuir para a qualidade de vida.

O segundo estudo, com base em um caso aplicado na Europa Central, demonstra como ações de restauração urbana e rural podem influenciar diretamente o conforto térmico humano. A análise do UTCI em diferentes unidades topoclimáticas revela o papel da vegetação na criação de microclimas urbanos e na mitigação do estresse térmico, reforçando a importância da restauração como ferramenta de adaptação climática.

O terceiro trabalho, a partir da integração de dados ambientais, climáticos e sociais, este estudo reafirma a importância de estratégias multiescalares e orientadas por evidências para a restauração ecológica no Pantanal. Os resultados obtidos fortalecem a urgência de ações restaurativas em zonas críticas sob pressão térmica e socioambiental, evidenciando o potencial das Soluções Baseadas na Natureza como instrumentos de adaptação às mudanças climáticas e promoção da justiça territorial.

Assim, os resultados obtidos ao longo desta pesquisa confirmam a hipótese central do estudo e respondem de forma afirmativa à pergunta de pesquisa proposta. A integração entre modelagem topoclimática, análise de estresse térmico humano (UTCI) e critérios socioambientais permitiu identificar com precisão áreas prioritárias para restauração ecológica no

Pantanal, com destaque para sub-regiões como Miranda. Verificou-se que a aplicação de critérios multicriteriais possibilita selecionar territórios onde a restauração pode reduzir o impacto do estresse térmico sobre a biodiversidade e as populações humanas, fortalecer a resiliência climática dos ecossistemas e respeitar os modos de vida tradicionais. Além disso, ao incorporar o mapeamento de Terras Indígenas e considerar atributos funcionais de espécies nativas, a abordagem adotada demonstrou potencial para gerar co-benefícios ambientais e sociais, promovendo a conservação da biodiversidade aliada à adaptação climática local.

A partir da análise dos estudos apresentados, destacam-se os seguintes pontos centrais sobre a interface entre restauração ecológica e mudanças climáticas:

1. Restauração ecológica como estratégia adaptativa:
 - Vai além da recuperação ecológica, assumindo papel crucial frente às mudanças climáticas;
 - Contribui para a resiliência funcional dos ecossistemas e o bem-estar humano.
2. Integração entre biodiversidade, clima e saúde:
 - Alinhamento com os princípios da abordagem Uma Saúde (One Health);
 - Conexão entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 13 – Ação Climática, ODS 15 – Vida Terrestre e ODS 3 – Saúde e Bem-Estar).
3. Contribuições do primeiro estudo:
 - Formulação de questões-chave sobre como tornar a restauração ecológica resiliente frente às mudanças climáticas;
 - Necessidade de modelos e práticas restaurativas que antecipem impactos futuros;
 - Enfoque na restauração como promotora de qualidade de vida e saúde ecossistêmica.

4. Contribuições do segundo estudo (caso da Europa Central):
 - Análise topoclimática e do índice UTCI como ferramenta para avaliar conforto térmico;
 - Evidência de que áreas com mais vegetação promovem microclimas mais favoráveis;
 - A restauração urbana como estratégia concreta de mitigação do estresse térmico.

5. Importância da escala e do contexto local:
 - Intervenções restaurativas devem considerar características específicas da paisagem e da população;
 - Ações locais, como demonstrado no caso da Polônia, podem servir de modelo replicável para outras regiões.

6. Contribuições do terceiro estudo:
 - Metodológica – Propôs uma abordagem integrada de priorização de áreas para restauração ecológica, combinando o uso de modelos topoclimática, de estresse térmico humano e critérios socioambientais.
 - Aplicada – Identificou sub-regiões prioritárias, como Miranda, e apresentou uma lista funcional de espécies nativas adaptadas a diferentes condições ambientais e climáticas.
 - Política e social – Fornecerá subsídios para políticas públicas de restauração e adaptação climática no Pantanal, com foco em territórios vulneráveis.

APÊNDICE

Apêndice A - Tela de busca da plataforma Flora e Funga do Brasil (<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>), utilizada para a seleção de espécies nativas com ocorrência no bioma Pantanal. A filtragem foi realizada por “Domínio Fitogeográfico = Pantanal” e por “Endemismo = apenas espécies endêmicas do Brasil”.

FLORA E FUNGA DO BRASIL

Nome

Grupo: Flora e Funga Família: todos

Gênero: Espécie:

Autor: Nome Popular:

Nome Completo:

Descrição

☐ Apenas Taxões com Descrição ☐ Somente com Imagem

Forma de Vida e Substrato

Forma de Vida: todos Substrato: todos

Abundância Geográfica

Ocorre no Brasil: qualquer Ocorrência: ocorre em

Endemismo: todos Origem: todos

Distribuição

País: qualquer Restringir às três esferas: todos

Estado: qualquer Dom. Fitogeográfico: qualquer

Vegetação

Vegetação: todos

Buscar até

subsp. var. Listar todos os nomes

CONSULTAR

Flora e Funga do Brasil

No ano de 2010, o Brasil conseguiu cumprir a Meta 1 estabelecida pela Estratégia Global para a Conservação de Plantas (GSPC-CDB), no âmbito da Convenção da Diversidade Biológica com a publicação do Catálogo de Plantas e Fungos do Brasil (veja acima em "Publicações/Referências") e com o lançamento da primeira versão online da Lista de Espécies da Flora do Brasil. O projeto "Lista do Brasil", como ficou popularmente conhecido, foi encerrado em novembro de 2015, com a publicação de cinco artigos e suas respectivas bases de dados (veja acima em "Acesso aos Dados" e "Publicações/Referências"). No início de 2016 foi lançado o projeto Flora do Brasil 2020, com o objetivo de cumprir a Meta 1 estabelecida pela GSPC-CDB para 2020, com a divulgação de descrições morfológicas, chaves de identificação e ilustrações para todas as espécies de plantas, algas e fungos conhecidos para o país. Ao final de 2020 foram disponibilizadas de forma ampla e livre as monografias para todas as famílias de Bréfitas, de Samambaias e Licófitas e de Gimnospermas nativas do Brasil, bem como as monografias para 80% das famílias de Angiospermas. Os resultados alcançados foram fruto do trabalho colaborativo de mais de 300 taxonomistas, brasileiros e estrangeiros, em uma plataforma online para a inclusão de dados dos seus grupos de especialidade. Além da elaboração das monografias, esses pesquisadores também são responsáveis pela inclusão de informações sobre nomenclatura (nomes acadêmicos vs. populares) e distribuição geográfica (abundância no Brasil, endemismo e Domínio Fitogeográfico), além de incluírem dados valiosos sobre formas de vida, substrato e tipo de vegetação para as espécies trabalhadas. É importante ressaltar que imagens em alta resolução de espécimes, bem como imagens das espécies na natureza e ilustrações científicas também são associadas às espécies para auxiliarem no seu reconhecimento. Contudo, as monografias concluídas para Algas e Fungos não conseguiram abranger a real diversidade destes grupos no Brasil e isso foi um estímulo para o início desta nova fase do projeto, agora denominado Flora e Funga do Brasil. Esta mudança visa buscar uma taxonomia biológica mais inclusiva para o Reino Fungi e um maior engajamento da comunidade micológica e taxonômica, tanto para a melhoria da lista de espécies ocorrentes no País, quanto para a elaboração de monografias.

Acima, em "Condição Atual dos Taxões", você pode saber quais famílias, classes (Algas), ordens (Fungos) e/ou gêneros já foram ou estão sendo monografados e quais ainda estão disponíveis. Caso você seja um taxonomista de formação e tenha interesse em participar deste projeto, envie um e-mail para o nosso contato indicando o grupo taxonômico de interesse para receber maiores informações.

Neste momento, o projeto Flora e Funga do Brasil reconhece **5322** espécies (nativas, naturalizadas e cultivadas), sendo **5845** de Algas, **1521** de Bréfitas, **1425** de Samambaias e Licófitas, **123** de Gimnospermas, **36765** de Angiospermas e **8303** de Fungos.

Como Citar

Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 04 jun. 2025

Contato

floraefungadobrasil@jbrj.gov.br

Bem vindo a Flora e Funga do Brasil!

Apêndice B - Tela de busca da ferramenta Espécies Nativas na plataforma WebAmbiente

(<https://www.webambiente.cnptia.embrapa.br/publico/especies.xhtml>), utilizada para obter informações ecológicas complementares sobre as espécies nativas do bioma Pantanal. Os filtros utilizados incluíram a seleção do bioma Pantanal, abrangendo todas as formações vegetais e fitofisionomias.

A imagem mostra a interface de busca da ferramenta "Espécies Nativas" no WebAmbiente. No topo, há o logo "WebAmbiente" e o logo "Embrapa" com os nomes dos ministérios: "Ministério da Agricultura e Pecuária" e "Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima". Abaixo, uma barra de navegação contém links para "Home", "Simulador", "Estratégias", "Espécies" (destacado), "Biblioteca Digital", "Glossário" e "Perguntas Frequentes". À direita da barra, há links para "Entrar" e "Fale conosco".

O título principal da seção é "Espécies Nativas". Abaixo dele, um subtítulo informa: "Informações sobre identificação botânica, distribuição geográfica, produção de mudas, formas de plantio, literatura específica e imagens para as espécies catalogadas."

A interface de busca possui uma barra azul com o texto "Busca" e "Busca Textual". Abaixo, há três filtros de seleção:

- Bioma:** Um menu suspenso com "Pantanal" selecionado.
- Formação Vegetal:** Um menu suspenso com "Todas as formações vegetais" selecionado.
- Fitofisionomia:** Um menu suspenso com "Todas as fitofisionomias" selecionado.

Um botão azul "Buscar" está localizado abaixo dos filtros.

Apêndice C - Script desenvolvido em linguagem R para realizar análises estatísticas das áreas (em km²) submetidas a diferentes categorias de estresse térmico na sub-região foco (Área Focal escolhida para a restauração ecológica de projetos futuros), considerando seis cenários climáticos (A a F). O código executa: (i) testes de normalidade (Shapiro-Wilk); (ii) comparação entre cenários presentes (A–D) e futuros (E–F) por meio de ANOVA, Kruskal-Wallis, teste t ou Wilcoxon, conforme aplicável; e (iii) comparações par a par entre cada cenário presente e futuro utilizando o teste de Wilcoxon. Os dados são estruturados em formato longo (long format) e os resultados estatísticos são apresentados por categoria de estresse térmico.

```

|
library(tidyverse)
library(readxl)

# Load the data
data <- read_excel("dados_area_foco.xlsx")

# Reshape data to long format
data_long <- pivot_longer(data, ~Category, names_to = "Scenario", values_to = "Area_km2")

# Define scenario groups
present <- c("Scenario_A", "Scenario_B", "Scenario_C", "Scenario_D")
future <- c("Scenario_E", "Scenario_F")

categories <- unique(data_long$Category)

# Loop through each thermal stress category
for (cat in categories) {
  cat("\n===== \n")
  cat(paste("Category:", cat, "\n"))
  df_cat <- filter(data_long, Category == cat)

  # Present group (A-D)
  df_present <- filter(df_cat, Scenario %in% present)
  cat("----- PRESENT (A-D) ----- \n")
  print(shapiro.test(df_present$Area_km2))
  if (shapiro.test(df_present$Area_km2)$p.value > 0.05) {
    print(summary(aov(Area_km2 ~ Scenario, data = df_present)))
  } else {
    print(kruskal.test(Area_km2 ~ Scenario, data = df_present))
  }

  # Future group (E-F)
  df_future <- filter(df_cat, Scenario %in% future)
  cat("----- FUTURE (E-F) ----- \n")

  if (nrow(df_future) >= 3) {
    shapiro_future <- shapiro.test(df_future$Area_km2)
    print(shapiro_future)

    if (shapiro_future$p.value > 0.05) {
      print(t.test(Area_km2 ~ Scenario, data = df_future))
    } else {
      print(wilcox.test(Area_km2 ~ Scenario, data = df_future))
    }
  } else {
    cat("Insufficient sample size for normality test. Applying wilcoxon directly.\n")
    print(wilcox.test(Area_km2 ~ Scenario, data = df_future))
  }
}

# Pairwise comparisons: each present vs each future scenario
for (cat in categories) {
  cat("\n===== \n")
  cat(paste("Category:", cat, "\n"))

  df_cat <- filter(data_long, Category == cat)

  for (pres in present) {
    for (fut in future) {
      group1 <- df_cat %>% filter(Scenario == pres) %>% pull(Area_km2)
      group2 <- df_cat %>% filter(Scenario == fut) %>% pull(Area_km2)

      if (length(group1) < 1 | length(group2) < 1) {
        cat(paste0(cat, ": ", pres, " vs ", fut, " - insufficient data\n"))
        next
      }

      result <- wilcox.test(group1, group2, exact = TRUE)

      cat(paste0(cat, ": ", pres, " vs ", fut,
        " - wilcoxon p = ", round(result$p.value, 4), "\n"))
    }
  }
}

```

Quadros e Tabelas

Apêndice D - Caracterização ecológica, geográfica e funcional de espécies nativas indicadas para restauração ecológica no bioma Pantanal. A tabela apresenta o nome aceito da espécie, forma de vida, ocorrência de endemismo, distribuição geográfica por região e domínio fitogeográfico, tipo de vegetação associada, estratégias sucessionais, modos de polinização e dispersão, status de conservação segundo as listas vermelhas da CNCFlora e da IUCN, e as respectivas fontes bibliográficas utilizadas para embasamento.

Espécie	Forma de vida	Endemismo	Distribuição Geográfica	Domínios Fitogeográficos	Tipo de Vegetação	Estratégia de Sucessional	Polinização	Dispersão	Lista Vermelha		Citação
									CNCFlora	IUCN	

<i>Anacardiu m humile</i> A.St.-Hil.	Árvore	Não	Norte (RO, TO) Nordeste (BA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	AA, Cee (lato sensu)	Secundária	Abelhas, borboletas	zoocoria/b aricoria	LC	DD	Mitchell & Mori 1987; Mendon ça et al. 1998; Santos 2004; Agostini- costa et al. 2016; Ronquim 2021; Silva- Luz et al. 2025
---	--------	-----	--	--------------------	----------------------------	------------	------------------------	------------------------	----	----	--

<i>Anacardiu m occidentale</i> L.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), Res, SA	Pioneira	Abelhas e vespas	zoocoria/b aricoria	NE	DD	Mendonça et al. 1998; Agostini-costa et al. 2016; Ronquim 2021; Silva-Luz et al. 2025
---	--------	-----	--	--------------------------	--	----------	------------------	---------------------	----	----	---

<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Árvore	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Amz, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FES	Pioneira/Secundária inicial/Secundária tardia/Clíma x exigente em luz	Abelhas	zoocoria	LC	LC	Lorenzi 1992; Carvalho 2010; Feitosa et al. 2011; Leite 2002; Macêdo et al. 2016; Alves et al. 2020; Silva- Luz et al. 2025
---	--------	-----	--	-------------	---	---	---------	----------	----	----	---

<i>Astronium urundeuva</i> (M. Allemão) Engl. [<i>Myracrodruon urundeuva</i> M. Allemão]	Árvore	Não	Norte (AC, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ca, Ce, MA, Pam, Pa	AA, Caa (stricto sensu), CL, CR, Car, Cee (lato sensu), FED, FES	Secundária inicial/Secundária tardia/Climax exigente de luz	Abelhas	zoocoria/anemocoria	DD	LC	Pott & Pott 1994; Almeida et al 1998; Carvalho 2003; Silva-Luz et al 2025
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Árvore	Não	Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Ca, Ce	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu)	Pioneira	Abelhas	anemocoria	DD	LC	Carvalho 2008; Ribeiro et al. 2023; Silva-Luz et al. 2025

<i>Spondias mombin</i> L.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Amz, Ce, MA	AA, FC, Flg, FTF, FV, FES	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria/b arocoria	NE	LC	Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; Silva-Luz et al. 2025
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Cee (lato sensu), FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial), Res	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Silva-Luz et al. 2025

<i>Annona aurantiaca</i> Barb.Rodr	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (TO) Nordeste (BA, MA) Centro-Oeste (GO, MS, MT)	Ce, Pa	Cee (lato sensu), FTF	Pioneira	Insetos, besouros	zoocoria/b aricoria	NE	LC	Cavalcante et al. 2009; Mattos et al. 2009; Mendes-Silva et al. 2025
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Árvore	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ce, Pa	Cee (lato sensu)	Secundária tardia/climática	Insetos, besouros	zoocoria/b aricoria	NE	LC	Carpanezzi 2001; Cavalcante et al. 2009; Mendes-Silva et al. 2025
<i>Annona malmeana</i> R.E.Fr.	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (TO) Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, GO, MT) Sudeste (MG)	Ce, Pa	Cee (lato sensu)	Secundária tardia	Insetos, besouros	zoocoria/b aricoria	DD	DD	Carpanezzi 2001; Cavalcante et al. 2009; Mendes-Silva et

											al. 2025
<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil.	Árvore	Sim	Norte (RO) Nordeste (AL, BA) Centro-Oeste (DF, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ca, Ce, MA, Pam, Pa	FC, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	Secundária inicial	Insetos, besouros	zoocoria/b aricoria	LC	LC	Carpanezzi 2001; Cavalcante et al. 2009; Gazzola 2021; Mendes-Silva et al. 2025

<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ce	Cee (lato sensu), FED, SA	Pioneira/Secundária inicial	Besouros	zoocoria/brocoria	LC	LC	Almeida et al. 1998; Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Aspidosperma australe</i> Müll. Arg.	Árvore	Não	Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ce, MA, Pam, Pa	Cee (lato sensu), FC, FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/Climax	Abelhas, mariposas	anemocoria	LC	LC	Morellato 1991; Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Carvalho 2006; Castello et al. 2025a

<i>Aspidosperma flaviflorum</i> Machate	Árvore	Sim	Centro-Oeste (DF, MS)	Ce, Pa	Cee (lato sensu)	Secundária tardia	Abelhas, mariposas	anemocoria	NE	DD	Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; Castello et al. 2025b
<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart. & Zucc.	Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Ca, Ce	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), Res, VAR	Secundária inicial	Abelhas, mariposas	anemocoria	NE	LC	Morellato 1991; Carvalho 2010; Castello et al. 2025c
<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schlttdl.	Árvore	Não	Centro-Oeste (MS) Sul (RS)	Pa	CL	Secundária tardia	Mariposas	anemocoria	DD	LC	Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; Castello et al. 2025d

<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	Árvore	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ce, MA	Cee (lato sensu), FC, FES	Pioneira/Secundária tardia	Abelhas, mariposas	anemocori-a	NE	LC	Morellato 1991; Carvalho 2006; Carvalho 2014; Castello et al. 2025e
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR, SC)	Ce	Cee (lato sensu)	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas, mariposas	anemocori-a	LC	LC	Morellato 1991; Moreira & Guarim-Neto 2009; Carvalho 2014; Castello et al. 2025f

<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Árvore	Não	Norte (AM, AP, PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	CR, Cee (lato sensu), SA	Pioneira	Mariposas	zoocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq) Lodd. ex Mart.	Palmeira	Não	Norte (AM, PA, RR) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP)	Amz, Ce, MA	AA, Cee (lato sensu), Mata Ribeirinha e/ou Mata de Galeria, FEP, FES	Pioneira	Coleópteros	zoocoria	NE	NE	Pott & Pott 1994; Brito 2013; Souza et al. 2020; Vianna & Campos-Rocha 2025

<i>Attalea phalerata</i> Mart. ex Spreng.	Palmeira	Não	Norte (AC, PA, RO, TO) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ce	AA, Cee (lato sensu), FC, FO (Floresta Pluvial)	Secundária tardia	Insetos, besouros, abelhas	zoocoria	LC	LC	Negrelle 2015; Ribeiro et al. 2023; Soares 2025a
<i>Attalea speciosa</i> Mart. ex Spreng.	Palmeira	Sim	Norte (AC, AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Amz, Ce	AA, Cee (lato sensu), FC, FO (Floresta Pluvial), Pal	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria/b aricoria/an emocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Santos 2025; Soares 2025b
<i>Copernicia alba</i> Morong	Palmeira	Não	Centro-Oeste (MS, MT)	Pa	FC, Pal	Pioneira	Morcegos	zoocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Jorge et al 2014; Araujo & Lobo 2020; Vianna 2025

<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	Palmeira	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, TO), Nordeste (BA, CE, MA, PI), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce	FC, Flg, Pal	Secundária	Abelhas, besouros	zoocoria/b arocoria	DD	LC	Lorenzi 1992; Almeida et al. 1998; Ribeirao et al. 2023; Vianna 2025
<i>Syagrus flexuosa</i> (Mart.) Becc.	Palmeira	Sim	Norte (TO) Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ca, Ce, Pa	CR, Cee (lato sensu), FED, VAR	Secundária tardia/Climá x	Abelhas, besouros	zoocoria	NE	DD	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Soares 2025

<i>Aspilia floribunda</i> (Gardner) Baker	Arbusto/ subarbusto	Sim	Norte (TO) Nordeste (PI) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Ca, Ce, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC	Pioneira	abelhas, vespas, borboletas e moscas.	anemocori a	LC	DD	Ribeiro et al. 2023; Santos et al. 2025a
<i>Aspilia grazielae</i> J.U.Santos	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Pa	S/I	Pioneira	abelhas, vespas, borboletas e moscas.	anemocori a	EN.	DD	Ribeiro et al. 2023; Santos et al. 2025b
<i>Calea lantanoide</i> s Gardner	Arbusto/Su barbusto	Sim	Norte (TO) Nordeste (MA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ce, Pa	Cee (lato sensu), FC	S/I	Abelhas, pequenos insetos, besouros	S/I	LC	DD	Silva & Teles 2018; Silva 2019; JBRJ 2025b

<i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.	Árvore	Não	Norte (PA, TO), Nordeste (BA, CE, MA, PI), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (ES, MG, RJ, SP), Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	Pioneira	Abelhas, beija-flore	anemocori a	NE	LC	Lorenzi 1992; Lohman n 2025
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Árvore	Não	Nordeste (BA, CE, PE) Centro-Oeste (MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ce, MA, Pam	FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira	Abelhas	anemocori a	LC	LC	Lorenzi 2002; Lohman n 2025

<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Árvore	Não	Norte (AC, PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Car, Cee (lato sensu), FED, FO (Floresta Pluvial), FOM, SA, VAR	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	anemocori a	NT	LC	Barbosa-Filho et al. 2004; Antunes et al. 2006; Warashina et al. 2006; Budni et al. 2007; Souza et al. 2008; Coelho et al. 2010; Fonseca-Filho et al. 2017; Ribeiro et al. 2023; Lohmann 2025
--	--------	-----	--	---------------------	---	---------------------------	---------	-------------	----	----	---

<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Árvore	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	CR, Car, Cee (lato sensu), VAR	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	anemocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Lohamann 2025
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	Árvore	Não	Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu)	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	anemocoria	NE	LC	Lorenzi 1992; Carvalho 2003; Farias-Singer 2025
<i>Jacaranda mutabilis</i> Hassl.	Árvore	Sim	Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Ce, Pa	Cee (lato sensu)	Pioneira	Abelhas, beija-flores	anemocoria	LC	DD	Ribeiro et al. 2023; Farias-Singer 2025

<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f ex S. Moore	Árvore	Não	Norte (AM, AP, PA, TO), Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (MG, SP), Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Car, Cee (lato sensu), FED, FO (Floresta Pluvial)	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	anemocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Lohman n 2025
<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb.	Árvore	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	CL, Cee (lato sensu)	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	anemocoria	EN	LC	Ribeiro et al. 2023; Lohman n 2025
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	Árvore	Não	Norte (PA, TO), Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Ca, Ce, MA	AA, Car, Cee (lato sensu), FED	Secundária inicial	Abelhas	anemocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Lohman n 2025

<i>Cochlospermum regium</i> (Mart. ex Schrank) Pilg.	Arbusto/Subarbusto	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, Pa	Caa (stricto sensu), CL, Cee (lato sensu), SA	Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas, coleopteros, formigas	anemocoria	DD	LC	Camillo 2009; Camillo et al. 2018; Ribeiro et al. 2023; Antar 2025a
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PE, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA	Cam, FC, FTF, FO (Floresta Pluvial), Res, SA	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Lorenzi 1992; Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (BA, MA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA	Cam, FC, Flg, FTF, FV, FES, FO (Floresta Pluvial), Pal, Res	Secundária tardia	Abelhas, pequenos insetos	autocórica, hidrocórica e zoocórica	NE	LC	Carvalho 2003; Santos et al. 2016; Ribeiro et al. 2023; Cabral 2025a
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Arbusto/Ár vore/Subar busto	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ce	Cam, Cee (lato sensu), VAR	S/I	Abelhas	anemacori a	NE	DD	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Trad 2025

<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg. [<i>Celtis pubescens</i> (Kunth) Spreng.]	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira	Vento	zoocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025d
<i>Trema micranthum</i> (L.) Blume [<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume]	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	FC, FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Lorenzi 2000; Machado 2025

<i>Anisocapparis speciosa</i> (Griseb.) Cornejo & Iltis	Arbusto/Árvore	Não	Centro-Oeste (MS)	Pa	Cee (lato sensu)	Secundária inicial	Abelhas, mariposas, borboletas	zoocoria	NE	LC	Schlindwein et al. 2012; Carvalho et al. 2016; Bortolotto et al. 2018; Silva Junior et al. 2018; Soares & Luber 2025
<i>Crateva tapia</i> L.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Car, FC, Man	S/I	Morcegos	zoocoria	NE	LC	Machado et al. 2004; Soares Neto & Luber 2025

<i>Cynophall a declinata</i> (Vell.) Iltis & Cornejo	Arbusto	Sim	Nordeste (BA) Centro-Oeste (MS) Sudeste (SP) Sul (PR)	Ca, MA, Pa	FES	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Soares Neto & Luber 2025
<i>Cynophall a mattogros sensis</i> (Pilg.) Cornejo & Iltis	Arbusto/Ár vore	Sim	Nordeste (BA) Centro-Oeste (MS, MT)	Ce, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FES	S/I	S/I	S/I	DD	DD	Soares Neto & Luber 2025
<i>Monilicarp a brasiliانا</i> (Banks ex DC.) Cornejo & Iltis	Arbusto	Sim	Norte (PA) Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, MS) Sudeste (ES, RJ)	MA, Pa	FES, Res	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Soares Neto & Luber 2025

<i>Jacaratia corumbensis</i> Kuntze	Arbusto/Árvore/Subarbusto	Não	Norte (TO) Nordeste (BA, CE, PB, PE) Centro-Oeste (GO, MS) Sudeste (MG)	Ce	Caa (stricto sensu), FC, FED, FES	Pioneira/Secundária tardia	mariposas	zoocoria/brocoria	NE	DD	Pott & Pott 1994; Carvalho 2006; Martins & Carvalho 2025
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Arbusto/Árvore/Subarbusto	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu)	Secundária tardia	Morcegos, abelhas, mariposas, beija-flores	zoocoria	LC	LC	Gomes et al. 2018; Aquino et al. 2023; Ribeiro et al. 2023; Prance & Pirani 2025

<i>Salacia elliptica</i> (Mart.) G. Don	Arbusto/Árvore/Liana/volúvel/trepadeira	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (BA, MA, PE, PI, RN) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Cee (lato sensu), FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial), Res, VAR	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Biral & Lombardi 2025
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth.	Árvore	Não	Norte (RO, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce	Cee (lato sensu), FO (Floresta Pluvial)	S/I	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Pott & Pott 1994; Sothers et al. 2025

<i>Garcinia brasiliensis</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (AC, AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, SE) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (ES, RJ, SP) Sul (SC)	MA	Res	Secundaria	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Terminalia corrugata</i> (Ducke) Gere & Boatwr. [Buchena via tomentosa Eichler]	Árvore	Sim	Norte (AC, AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Amz, Ca, Ce	Caa (stricto sensu), Car, Cee (lato sensu), FO (Floresta Pluvial)	Pioneira	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Lorenzi 2009; Carvalho 2010; Teodoro et al 2018; Farias et al. 2015; Ribeiro et al. 2025; Souza et al. 2025

<i>Combretum duarteianum</i> Cambess.	Arbusto/ Árvore/ Liana/volúvel/trepadeira	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce, MA	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu)	Secundária inicial/Secundária tardia	Beija-flor, aves, macacos, abelhas	anemocori a	NE	DD	Gomes & Quirino 2016; Ribeiro et al. 2023; 2025
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Arbusto/ Árvore/ Liana/volúvel/trepadeira	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Car, Cee (lato sensu), FED, FES	Secundária inicial/Secundária tardia	Beija-flor, aves, macacos	anemocori a	NE	LC	Gomes & Quirino 2016; Ribeiro et al. 2023; 2025

<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, CE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FES, SA	Pioneira	Abelhas	anemocoria	LC	LC	Pott & Pott 1994; Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; 2025
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ce	AA, Cee (lato sensu)	Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Toledo & Souza 2025

<i>Cordia brasiliensis</i> (I.M.Johnst.) Gottschling & J.S.Mill.	Árvore	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	FED	Pioneira/Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria/a nemocoria	LC	LC	Gasparino 2005; Morandi 2010; Carvalho 2003; 2006; 2008; JBRJ 2025
<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A.DC.	Árvore	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, SP)	Ca, Ce	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FED	Pioneira/Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria/a nemocoria	NE	DD	Carvalho 2003; 2006; 2008; Gasparino 2005; Morandi 2010; Melo et al. 2023; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	Árvore	Sim	Norte (TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA	Cee (lato sensu), FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/Se cundária inicial/Secu ndária tardia	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria/a nemocoria	NE	LC	Carvalho 2003; 2006; 2008; Gasparin o 2005; Morandi 2010; JBRJ 2025
<i>Curatella americana</i> L.	Arbusto/Ár vore	Não	Norte (AM, AP, PA, RO, RR, TO), Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE), Centro- Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Cam, Cee (lato sensu), FC, Res, SA	Secundária tardia/Climá x	Abelas	zoocoria	DD	LC	Ribeiro et al. 2023; Muniz 2025

<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	Arbusto/ Liana/volúvel/trepadeira/ Subarbusto	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MT) Sudeste (MG, SP)	Ce	CR, Cee (lato sensu)	Secundária tardia/Climáx	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Fraga 2025
<i>Diospyros lasiocalyx</i> (Mart.) B.Walln.	Arbusto/ Árvore/ Subarbusto	Não	Norte (PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Ce, MA	Cee (lato sensu), FED, FES	Secundária tardia/Climáx	mariposas	zoocoria	NE	NE	Tabarelli et al. 2005; Mamede & Pasa 2019; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Erythroxylum anguifugum</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (AM, PA, RO, RR, TO) Nordeste (MA) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ce, Pa	Cee (lato sensu), FC, FV, FES, VA	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	LC	LC	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	Arbusto, Árvore, Liana/volúvel/trepadeira	Não	Norte (AC, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ce, MA, Pam	FC, FTF, FED, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	Pioneira/Secundária inicial/Clímax exigente em luz	Abelhas e pequenos insetos	zoocoria	DD	DD	Kuhlman & Kuhn 1947; Moraes 1992; Steinbach & Longo 1992; Carvalho 2006
<i>Cnidocolus cervii</i> Fern.Casas	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Ce, Pa	AA, Cee (lato sensu), VAR	S/I	S/I	S/I	DD	DD	Maya-Lastra et al. 2025

<i>Croton cinerellus</i> Müll.Arg.	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS) Sudeste (MG)	Ce, Pa	CL, Cee (lato sensu)	Pioneira/Se cundária inicial	Abelhas, moscas	autocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Croton corumbensis</i> S.Moore	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Pa	AA, Cee (lato sensu)	Pioneira/Se cundária inicial	Abelhas, moscas	autocoria	NE	DD	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Croton glyptospermus</i> Müll.Arg.	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Ce, Pa	S/I	Pioneira/Se cundária inicial	Abelhas, moscas	autocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Croton subglaber</i> K.Schum.	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MT)	Pa	FC	Pioneira/Se cundária inicial	Abelhas, moscas	autocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Jatropha martiusii</i> (Pohl) Baill.	Arbusto	Sim	Nordeste (BA) Centro-Oeste (MS)	Ca, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FED	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Bigio et al. 2025
<i>Jatropha ribifolia</i> (Pohl) Baill.	Arbusto/Su barbusto	Sim	Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (MS) Sudeste (MG) Sul (RS)	Ca, Ce, Pam, Pa	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu)	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Bigio et al. 2025
<i>Jatropha weddeliana</i> Baill.	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Pa	Cee (lato sensu)	S/I	S/I	S/I			Bigio et al. 2025

<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA	AA, CV, Cee (lato sensu), FC, FTF, FED, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM, SA	Pioneira	Abelhas, pequenos insetos	barocoria	NE	DD	Lorenzi 2002; Oliveira & Hopkins 2025; Cordeiro 2025
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	Arbusto	Não	Norte (AC, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ce, MA, Pam	FC, FTF, FED, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	Pioneira/Secundária Inicial	Abelhas	baricoria	DD	DD	Carvalho 2009; Chagas & Dutra 2025

<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm	Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN) Centro-Oeste (GO, MS) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FED, FES	Pioneira	Abelhas, mariposas, moscas	anemocori a	NT	DD	Dias et al. 2007; ALVES & PEREIR A 2016; ARAUJO & Dantas 2018; Carvalho 2020; NASCIM ENTO & BRAGA 2022; Santos 2022; Dantas & Kill 2023; Seleme 2025
--	--------	-----	--	-------------------	---	----------	----------------------------------	----------------	----	----	--

<i>Andira inermis</i> (W.Wright) DC.	Árvore	Sim	Norte (AC, AM, AP, PA, RO) Nordeste (MA) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG) Sul (PR, SC)	Amz, Ce, MA	S/I	Secundária	Abelhas, morcegos	zoocoria	LC	DD	Ronquim 2021; Abreu et al. 2022; Ramos et al. 2025
<i>Bauhinia leptantha</i> Malme	Arbusto/Árvore	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	FED	Pioneira	Morcegos	autocórica/ baricórica	LC	LC	Carvalho 2003; Vaz & Santos 2025a
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	Arbusto/Árvore/Subarbusto	Não	Centro-Oeste (DF, GO) Sudeste (MG)	Ce	CR, Cee (lato sensu)	Secundária	Morcegos	autocórica/ baricórica	NE	LC	Carvalho 2003; Andrade et al. 2021; Ronquim 2021; Vaz & Santos 2025a

<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Car, Cee (lato sensu), FC, FEP, FES, Res	PioneiraSecundária tardia/Clímax exigente em luz	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria/anemocoria	NT	LC	Carvalho 2006; Borgiani et al. 2022; Cardoso et al. 2025
<i>Cassia grandis</i> L.f.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP) Sul (PR, RS)	Amz, Ce, MA, Pa	FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas, borboletas	autocoria/barocoria/zoocoria/hidrocoria	DD	LC	Carvalho 2003; 2020; Scheidegger & Rando 2025

<i>Chamaecrista dalbergiifolia</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Ce, Pa	AA, CR, Cee (lato sensu), FC	Pioneira/SE cundária inicial	Abelhas	autocoria	DD	DD	Ribeiro et al. 2023; Rando et al. 2025
<i>Copaifera martii</i> Hayne	Arbusto/ Árvore	Não	Norte (AM, PA, TO) Nordeste (CE, MA, PI)	Amz, Ca, Ce	Cee (lato sensu), FTF, FEP, FES	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Carvalho 2005; Lameira et aç. 2020; Moraes & Silva 2023; Ribeiro et al. 2013; Costa 2025
<i>Dahlstedtia dehiscens</i> M.J Silva & A.M.G.	Árvore	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	FED	S/I	S/I	S/I	DD	DD	Silva 2025

Azevedo											
<i>Dimorpha ndra mollis</i> Benth.	Árvore	Não	Norte (PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ce, Pa	CR, Cee (lato sensu), FC, FES	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Souza et al. 2025
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Árvore	Não	Norte (RO, TO), Nordeste (BA, MA), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (MG, SP)	Ce	Cee (lato sensu), FC, FES, SA	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria	LC	VU	Carvalho et al. 2025

<i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (RO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, SP)	Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), CR, Cee (lato sensu), FC, FES	Secundária	S/I	anemocoria	NE	LC	Lorenzi 1992;
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Árvore	Não	Nordeste (BA, CE, PB, PE, PI, RN) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ca, Ce, MA, Pam, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FES, FO (Floresta Pluvial)	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Morim et al. 2025

<i>Hymenae a courbaril</i> L.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Cee (lato sensu), FC, FTF, FO (Floresta Pluvial), Res	Secundária tardia	Morcegos	zoocoria	LC	LC	Pott & Pott 1994; Carvalho 2003; Ribeiro et al. 2023; Pinto et al. 2025
<i>Hymenae a stigonocar pa</i> Mart. ex Hayne	Árvore	Não	Norte (PA, TO), Nordeste (BA, MA, PE, PI), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce, Pa	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FES	Secundária tardia	Morcegos	zoocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; Pinto et al. 2025

<i>Inga vera</i> Willd.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ce, MA, Pam, Pa	AA, CL, CR, Cee (lato sensu), FC, Flg, FTF, FV, FES	Pioneira	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Carvalho 2008; Garcia & Bonadeu 2025
<i>Lonchocar pus sericeus</i> (Poir.) Kunth ex DC.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (GO, MS) Sudeste (ES, RJ) Sul (SC)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FTF, FO (Floresta Pluvial), Res	Pioneira	Abelhas	anemocori a	NE	LC	Lorenzi 1992; 1998; 2002; Silva 2025

<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	Árvore	Não	Norte (PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), CR, Cee (lato sensu), FC, FED, FES	Pioneira/secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas, pequenos insetos	anemocori a	NE	LC	Almeida et al 1998; Carvalho 2014; Filardi et al. 2025
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial), VAR	Pioneira/secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas, pequenos insetos	anemocori a	LC	LC	Almeida et al 1998; Carvalho 2014; Filardi et al. 2025

<i>Machaerium villosum</i> Vogel	Árvore	Não	Nordeste (BA, CE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FED, FES	Pioneira/secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas, pequenos insetos	anemocoria	LC	VU	Almeida et al 1998; Carvalho 2014; Filardi et al. 2025
<i>Mimosa roseoalba</i> Sav.-Cout. & G. P. Lewis	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	S/I	Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas	autocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Mimosa somnians</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Arbusto	Não	Norte (AM, AP, PA, RR, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, Pa	AA, Caa (stricto sensu), CL, CR, Cee (lato sensu), FC, FED, FES, SA, VA	Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas	autocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Muelleria variabilis</i> (RR.Silva & AMG.Azevedo) MJ.Silva & AMG.Azevedo	Árvore	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	FES	S/I	S/I	S/I	EN	DD	Silva 2025
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Árvore	Não	Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Car, Cee (lato sensu), FC, FED, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	Pioneira/Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas	anemocoria/barocoria	NE	LC	Lorenzi 1992; Carvalho 2008; Ribeiro et al. 2023; Silva et al 2025

<i>Lachesiodendron viridiflorum</i> (Kunth) P.G. Ribeiro, L.P. Queiroz & Luckow <i>[Piptadenia viridiflora]</i> (Kunth) Benth.]	Árvore	Não	Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, MS, MT) Sudeste (MG)	Ca, Ce, Pa	Caa (stricto sensu), FED	Pioneira	Abelhas	anemocoria	NE	LC	Lorenzi 1998; 2002; Queiroz 2025
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	Cee (lato sensu), FC, FES, FO (Floresta Pluvial)	Secundária	Abelhas	anemocoria	LC	LC	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Carvalho 2008; Ribeiro et al 2023; Morim

											2025
<i>Platypodiu m elegans</i> Vogel	Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, RR, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA	Cee (lato sensu), FC, FTF, FED, FES, FO (Floresta Pluvial), SA	Secundária inicial	Abelhas, beija-flor	anemocori a	NE	LC	Lorenzi 1992; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Lima & Kuntz 2025

<i>Prosopis ruscifolia</i> Griseb.	Árvore	não	Nordeste (PE) Centro-Oeste (MS)	Ca, Pa	Caa (stricto sensu), FED	Pioneira	Abelhas	zoocoria/b arocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Oliveira & Queiroz 2025
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Árvore	Não	Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ca, Ce, MA	AA, FED, FES	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	anemocoria	LC	NT	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Rando et al. 2025

<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, RN) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Cam, Cee (lato sensu), FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	autocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Terra & Morim 2025
<i>Senna silvestris</i> (Vell.) H.S.Irwin & Barneby	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Cee (lato sensu), FC, FED, FES, FO (Floresta Pluvial), Res, SA, VAR	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	autocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Bortoluzzi et al. 2025

<i>Stryphnodendron rotundifolium</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, PA, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Ca, Ce, Pa	CL, CR, Cee (lato sensu)	Secundária	Abelhas	zoocoria/brocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Lima et al. 2025
<i>Stylosanthes capitata</i> Vogel	Subarbusto	Não	Norte (PA, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FED, FES	Pioneira	Abelhas	epizoocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Swartzia jorori</i> Harms	Árvore	Não	Norte (AC) Centro-Oeste (MT)	Amz, Ce, Pa	Cee (lato sensu), FTF	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Tachigali aurea</i> Tul.	Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ce	Cee (lato sensu), FC	Secundária inicial	Abelhas	anemocoria	NE	DD	Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; Huamantupa-Chuquimaco et al. 2025

<i>Trischidium molle</i> (Benth.) H.E.Ireland	Arbusto/Árvore	Sim	Nordeste (BA, CE, PE, PI) Centro-Oeste (MS) Sudeste (MG)	Ca, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FES, VAR	S/I	S/I	S/I	LC	LC	Mansano 2025
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce	Cee (lato sensu)	Secundária tardia/Climáx	Abelhas	anemocori-a	NE	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; Cardoso et al. 2025
<i>Casimirella diversifolia</i> R.A.Howard	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Ce, Pa	FC	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Costa et al. 2023; Amorim 2025

<i>Casimirella lanata</i> R.A.Howard	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS)	Ce, Pa	Cee (lato sensu)	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Costa et al. 2023; Amorim 2025
<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng.	Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Car, Cee (lato sensu), FC, FES, Res	Secundária tardia	Abelhas, vespas	zoocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; França 2025
<i>Mezilaurus vanderwerffii</i> F.M.Alves & Baitello	Árvore	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Ce, Pa	Cee (lato sensu), FES	S/I	S/I	S/I	VU	VU	JBRJ 2025

<i>Nectandra gardneri</i> Meisn.	Árvore	Sim	Norte (TO) Nordeste (AL, BA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Ce, Pa	Cee (lato sensu), FC, FV	S/I	S/I	S/I	LC	LC	JBRJ 2025
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	Árvore	Sim	Centro-Oeste (GO, MS) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu), FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	S/I	S/I	S/I	NE	LC	JBRJ 2025
<i>Strychnos pseudoquina</i> A.St.-Hil.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (BA, MA) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ce	CR, Cee (lato sensu), VAR	Secundária tardia	Mariposas, moscas	zoocoria	NE	DD	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Setubal 2025

<i>Lafoensia pacari</i> A.St.Hil.	Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (BA, MA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Ce	Cee (lato sensu), FC	Secundária inicial	morcegos	anemacoria/barocoria	LC	LC	Pott & Pott 1994; Carvalho 2003; Cavalcanti 2025
<i>Bronwenia longipilifera</i> (B.Gates) W.R.Anderson & C.C.Davis*	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Pa	Cee (lato sensu)	Secundária tardia/Climáx	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; Almeida 2025

<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, MA, PI, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ce, MA	Cam, CR, FC, Flg, SA	Secundária tardia/Climáx	Abelhas	zoocoria	LC	LC	Barbosa et al. 2005; Batista et al. 2005; Stefanello et al. 2009; Amorim & De Marco 2011; Mendes et al. 2011; Ribeiro et al. 2023; Francener & Almeida 2025a
---------------------------------------	----------------	-----	--	-------------	----------------------	--------------------------	---------	----------	----	----	--

<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	Arbusto	Sim	Norte (PA, TO) Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu)	Secundária tardia/Climá x	Abelhas, formigas	zoocoria	NE	DD	Moreira 2010; Mendes et al. 2011; Magalhães et al. 2013; Ribeiro et al. 2023; Francener & Almeida 2025b
<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	Árvore	Sim	Norte (TO) Nordeste (MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, SP)	Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu), FC	Secundária tardia/Climá x	Morcegos, pequenos insetos, passaros	zoocoria	NE	LC	Mendes et al. 2011; Ribeiro et al. 2023; Francener & Almeida 2025c

<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RR, TO) Nordeste (AL, BA, MA, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	Cam, CR, Cee (lato sensu), Res, SA	Secundária tardia/Climáx	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Batista et al. 2005; Mendes et al. 2011; Silva et al. 2017; Araujo et al. 2018; Ribeiro et al. 2023; Francener & Almeida 2025d
<i>Heteropterys corumbensis</i> Kuntze	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	Cee (lato sensu)	Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas	anemocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; Pessoa et al. 2025

<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Cee (lato sensu), FC, FTF, FO (Floresta Pluvial), Res	Pioneira	Abelhas, pequenos insetos	anemocori a	NE	LC	Lorenzi 2002; Carvalho 2010; Colli-Silva 2025
<i>Ceiba pubiflora</i> (A. St.-Hil.) K. Schum.	Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (BA, PE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Ca, Ce, Pa	Caa (stricto sensu), FC, FES, VAR	Pioneira/Secundária inicial	Beija-flor, morcegos, insetos	anemocori a	DD	LC	Ribeiro et al. 2023; Carvalho - Sobrinho 2025

<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	Árvore	Não	Norte (RO) Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce	Cee (lato sensu)	Secundária tardia	Abelhas	anemocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; Duarte & Yoshikawa 2025
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO), Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (ES, MG, RJ, SP), Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FTF, FED, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Carvalho 2008; Pereira et al. 2019; Colli-Silva 2025

<i>Helicteres corylifolia</i> Nees & Mart.	Arbusto	Sim	Norte (PA, RO, RR, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FES	S/I	Morcegos	zoocoria	LC	DD	Pott & Pott 1994; Colli-Silva & Antar 2025
<i>Luehea candicans</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/secundária inicial	Abelhas	anemocoria	LC	LC	Lorenzi 1998; Carvalho 2006; Gerace & Bovini 2025

<i>Luehea paniculata</i> Mart.	Árvore	Não	Norte (AP, PA, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FED, FO (Floresta Pluvial)	Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas	anemocoria	NE	DD	Almeida et al. 1998; Lorenzi 1998; Gerace & Bovini 2025
<i>Pseudabutilon benense</i> (Britton) Fryxell	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Ce, Pa	FC, FES	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Bovini 2025

<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart.) A.Robyns	Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, Pa	AA, CR, Cee (lato sensu), FES, SA	Secundária tardia	Morcegos, marsupiais, abelhas	anemocori a	NE	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; Ribeiro et al. 2023; Carvalho - Sobrinho & Yoshikawa 2025
--	--------	-----	--	-----------------	-----------------------------------	-------------------	-------------------------------	----------------	----	----	---

<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA) Centro-Oeste (GO)	Amz, Ce	Cee (lato sensu), FTF	Secundária tardia	Moscas	zoocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Drovak et al. 1998; Lorenzi 2002; Fenner et al. 2006; Santos Júnior. et al. 2006; 2010; Tania et al. 2013; Fontoura et al. 2015; Ferreira et al. 2017; Mosca et al. 2018;
---	--------	-----	---	---------	-----------------------------	----------------------	--------	----------	----	----	--

											Ribeiro et al. 2023; Colli- Silva et al 2025
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	Árvore	Sim	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial)	Secundária tardia	Moscas	zoocoria	LC	LC	Ribeiro et al. 2023; Colli-Silva et al. 2025
<i>Wissadula amplissima</i> (L.) R.E.Fr.	Arbusto	Sim	Norte (TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP)	Ca, Ce, MA, Pa	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FES, FO (Floresta Pluvial)	S/I	S/I	S/I	LC	DD	Bovini 2025
<i>Wissadula delicata</i> Bovini	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	AA, FED	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Bovini 2025
<i>Wissadula stipulata</i> Bovini	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	AA, FES	S/I	S/I	S/I	NE	DD	Bovini 2025

<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	AA, Cam, CR, Car, Cee (lato sensu), FES, Res, SA	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria	DD	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; Carvalho 2008; 2014; Ribeiro et al. 2023; Goldenberg 2025
<i>Mouriri elliptica</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Ce	Cee (lato sensu)	Pioneira	Abelhas	zoocoria/brocoria	DD	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; Ribeiro et al. 2023; Völtz & Goldenberg 2025

<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PE, PI, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	Cee (lato sensu), FTF, FED, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial)	Secundária/inicial/Secundária tardia/Climá x	Mariposas, abelhas	anemocoria	VU	VU	Marquesini 1995; Carvalho 2003a; 2003b; Ribeiro et al. 2023; Grings & Brack 2011
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO), Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (ES, MG, RJ, SP), Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA	AA, Cee (lato sensu), FC, FV, FO (Floresta Pluvial)	Secundária tardia/Climá x	mariposas/abelhas	zoocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Flores 2025

<i>Trichilia catigua</i> A.Juss.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (RO) Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA	FC, FTF, FES, Res	Pioneira	Abelhas	barocoria	LC	LC	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Flores 2025
<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, PA, RO, RR) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA	AA, Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FV, FED, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	Pioneira	Abelhas	barocoria	NE	LC	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Flores 2025
<i>Mollinedia widgrenii</i> A.DC.	Árvore	Sim	Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP)	Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu), FC, FES, FO (Floresta	Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Lorenzi 2002; Lirio et al. 2025

			Sul (PR, SC)		Pluvial)						
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	AA, Cee (lato sensu), SA	Pioneira	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria	NE	DD	Leão et al. 2005; Morais et al. 2005; Carvalho 2014; Faria et al. 2015; Silva et al. 2018; Ribeiro & Pederneiras 2025
<i>Ficus carautana</i> L.J.Neves & Emygdio	Árvore	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Pa	FC	S/I	S/I	S/I	EN	DD	Pederneiras et al. 2025

<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FED, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM, Res	Pioneira	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria/hidrocoria	NE	LC	Lorenzi 1992; Carvalho 2003; Pederneiras 2025
<i>Sorocea muriculata</i> Miq.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, RR), Centro-Oeste (MT)	Amz, Pa	FTF	S/I	S/I	S/I			Pederneiras et al. 2025

<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	Arbusto/Árvore	Não	Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ca, Ce, MA, Pam	AA, CL, CR, Cee (lato sensu), FED, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM, Res	Secundária tardia/Climax exigente em luz	Abelhas, pequenos insetos	zoocoria	LC	DD	Carvalho 2006; Rodrigues 2007; Vasconcelos & Proença 2025
<i>Eugenia aurata</i> O.Berg	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (TO) Nordeste (PI) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR)	Ca, Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu)	Secundária tardia/Climax	Abelhas	zoocoria	LC	DD	Carvalho 2006; 2008; 2010; 2012; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Eugenia florida</i> DC.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FTF, FV, FES, FO (Floresta Pluvial)	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria	LC	LC	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Eugenia Paensis</i> Faria & Sobral	Árvore	Sim	Centro-Oeste (MS, MT)	Ce, Pa	Cee (lato sensu)	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Carvalho 2006; 2008; 2010; 2012; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Eugenia punicifolia</i> (Kunth) DC.	Arbusto	Sim	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Cam, CR, Cee (lato sensu), FES, Res, VAR	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	zoocoria	LC	DD	Carvalho 2006; 2008; 2010; 2012; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	Arbusto/ Árvore/ Subarbusto	Não	Centro-Oeste (GO, MS) Sudeste (MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ce, MA	Cee (lato sensu), FES, FOM	Secundária tardia	Abelhas	zoocoria/brocoria	NE	LC	Lorenzi 1992; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Eugenia sparsa</i> S.Moore	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (TO) Centro-Oeste (GO, MS, MT)	Ce, Pa	Cee (lato sensu), FC	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Carvalho 2006; 2008; 2010; 2012; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	CR, Cee (lato sensu), FC, FTF, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	DD	LC	Lorenzi 1998; 2002; Carvalho 2008; Ribeiro et al. 2023; Santos et al. 2025

<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), CA, CR, Cee (lato sensu), FC, FTF, FV, FES, FO (Floresta Pluvial), Res	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	DD	LC	Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; Santos et al. 2025
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	Árvore	Não	Norte (AP, PA, RR, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ce	Cee (lato sensu)	Secundária tardia/Climáx	Abelhas	zoocoria	DD	DD	Pott & Pott 1998; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

<i>Dulacia eglei</i> (Bastos) Sleumer	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (TO) Centro-Oeste (MS, MT)	Ce, Pa	FC	Pioneira/Secundária inicial/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	EN	DD	Pott & Pott 1994; Costa-Lima & Chagas 2025
<i>Agonandra brasiliensis</i> Benth & Hook. f	Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Car, Cee (lato sensu), FC, FTF, FV, FED, FES	Pioneira	Abelhas	zoocoria	DD	DD	Conceição et al. 2022; Silva 2025
<i>Triplaris americana</i> L.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, RO) Centro-Oeste (MS, MT) Sudeste (SP) Sul (PR)	Amz, Ce, MA	FC, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira	Vento	anemocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2023; Melo 2025

<i>Triplaris gardneria</i> na Wedd.	Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), Car, Cee (lato sensu), FC, FV, FED, FES, VAR	Pioneira	Vento	anemocori a	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; Melo 2025
<i>Myrsine guianensi</i> s (Aubl.) Kuntze	Arbusto/Ár vore	Não	Norte (AM, AP, PA, RR) Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam	Cee (lato sensu), FTF, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/Se cundária inicial	Abelhas, moscas	zoocoria	DD	LC	Carvalho 2014; Freitas 2025

<i>Rhamnidi um elaecarp um Reissek</i>	Árvore	Não	Norte (AC, TO) Nordeste (AL, BA, MA, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, SP) Sul (SC)	Amz, Ce, MA	Cee (lato sensu), FC, FES	Pioneira/Se cundária inicial/Climá x exigente de luz	Abelhas, moscas	zoocoria	NE	LC	Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; Lima et al. 2025
<i>Sarcomph alus mistol (Griseb.) Hauensch ild [Ziziphus oblongifoli a S. Moore]</i>	Árvore	Não	Centro-Oeste (MS)	Pa	Cee (lato sensu)	Pioneira	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Carvalho 2006; Lima et al. 2025

<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, PA, RR) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP)	Amz, Ce	Cam, CR, Car, Cee (lato sensu), FC, Flg, FEP, FO (Floresta Pluvial), SA	Secundária	Mariposas	zoocoria	NE	DD	Rodrigues & Albuquerque 2007; Castro & Cardoso 2021; JBRJ 2025a
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ce	Cam, CR, Car, Cee (lato sensu), FC, Flg, FEP, FO (Floresta Pluvial), SA	Pioneira	Abelhas	anemocoria	NE	DD	Yamamoto et al. 2007; Ronquim 2021; Martins et al. 2025; O'Leary & Moroni 2025

<i>Calycophyllum multiflorum</i> Griseb.	Árvore	Não	Centro-Oeste (MS)	Ce, Pa	FC, FES	S/I	Pequenos insetos	anemocoria	LC	DD	Pott & Pott 1994; Guedes et al. 2016; Guedes 2020; JBRJ 2025c
<i>Cordia sessilis</i> (Vell.) Kuntze	Arbusto	Não	Norte (PA, TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ca, Ce	Caa (stricto sensu), Car, Cee (lato sensu)	Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Meira Junior et al. 2015; Salomão & Santos 2021; JBRJ 2025

<i>Genipa americana</i> L.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Cee (lato sensu), FC, Flg, FTF, FV, FED, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial), Res	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	LC	NE	Lorenzi & Matos 2008; Erbano & Duarte 2010; Souza et al. 2013; Cordeiro & Félix 2014; Cardoso et al. 2020; Ribeiro et al. 2023; Gomes 2025
-------------------------------	--------	-----	--	---------------------	---	-----------------------------	---------	----------	----	----	--

<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltldl.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AP, PA, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS)	Amz, Ca, Ce, MA	AA, CR, Car, Cee (lato sensu), FED, FES, VAR	Secundária	S/I	zoocoria	LC	DD	Lorenzi 1998; Barbosa 2025
<i>Psychotria carthagenensis</i> Jacq.	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	CV, FC, Flg, FV, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial), Res	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	LC	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; JBRJ 2025

<i>Psychotria niveobarbata</i> (Müll.Arg.) Britton	Arbusto/Árvore	Sim	Nordeste (BA) Centro-Oeste (MS) Sudeste (MG, RJ, SP)	MA, Pa	FC, FES, Res	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; JBRJ 2025
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum.	Arbusto/Subarbusto	Não	Norte (AM, AP, PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA	Caa (stricto sensu), CR, Cee (lato sensu), FC, FED, FES	Secundária inicial/Secundária tardia	Mariposas	zoocoria	NE	DD	Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Borges 2025

<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lam.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA	Cee (lato sensu), FC, FTF, FED, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2013; Pirani & Groppo 2025
<i>Zanthoxylum rigidum</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Arbusto/Árvore	Não	Nordeste (BA) Centro-Oeste (MS, MT) Sudeste (MG)	Ce, Pa	Cee (lato sensu), FED, FES	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Ribeiro et al. 2013; Pirani & Groppo 2025

<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Arbusto/ Árvore/ Subarbusto	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	Caa (stricto sensu), Cam, Cee (lato sensu), FC, FED, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM, Res	Pioneira/Secundária inicial/Secundária tardia/Clímax exigente em luz	Abelhas, moscas	zoocoria	NE	LC	Carvalho 2006, 2007; Marquet e & Medeiros 2025
<i>Cupania castaneae folia</i> Mart.	Árvore	Sim	Norte (AC, AM, PA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT)	Amz, Ce, Pa	Cee (lato sensu), FTF	Secundária inicial/Secundária tardia	Borboletas, mariposas, abelhas, pequenos insetos	zoocoria	DD	DD	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Carvalho 2006; JBRJ 2025

<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	Árvore	Não	Norte (AC, TO) Nordeste (AL, BA, PB, PE, RN) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP)	Amz, Ce, MA	Cee (lato sensu), FTF, FED, FES, FO (Floresta Pluvial)	Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	LC	NT	Ribeiro et al. 2023; Ferrucci & Somner 2025
<i>Diplokeleba floribunda</i> N.E.Br.	Árvore	Não	Centro-Oeste (MS)	Ce, Pa	Cee (lato sensu)	Secundária	S/I	anemocoria	NE	NT	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Somner & Ferrucci 2025

<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	Árvore	Não	Norte (RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce	Cee (lato sensu), FES	Pioneira	Abelhas, besouros	anemocoria	DD	LC	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; Ferrucci & Somner 2025
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO), Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Sudeste (ES, MG, RJ, SP), Sul	Amz, Ce, MA, Pa	CR, Cee (lato sensu), FC, FTF, FV, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira	Abelhas, besouros	zoocoria	DD	LC	Lorenzi 2002; Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; Coelho 2025

			(PR)								
<i>Melicoccus s oliviformis</i> Kunth	Árvore	Sim	Norte (AM) Sudeste (ES, MG, RJ)	Amz, Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu), FC, FTF, FED, FO (Floresta Pluvial), SA	S/I	S/I	S/I	LC	LC	Acevedo - Rodríguez & Medeiros 2025

<i>Sapindus saponaria</i> L.	Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, TO) Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, RN, SE) Centro-Oeste (GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ce, MA, Pa	AA, FC, FTF, FES, FO (Floresta Pluvial)	Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Carvalho 2014; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Talisia oedipoda</i> Radlk.	Arbusto	Sim	Centro-Oeste (MS)	Pa	FC, FED	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Pouteria glomerata</i> (Miq.) Radlk.	Árvore	não	Norte (AC, AM, PA, RO, RR) Nordeste (AL, BA, MA, PE, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ce, MA	Cam, Car, FC, Flg, FTF, FV, FED, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial)	Pioneira/Secundária inicial/Secundária tardia	Abelhas, mariposas	zoocoria	LC	LC	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Alves-Araújo & Nichio-Amaral

											2025
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Árvore	não	Norte (PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, MA	Cee (lato sensu), Res	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas, mariposas	zoocoria/brocoria	NE	LC	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Alves-Araújo & Nichio-Amaral

											2025
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------

<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	Arbusto/Árvore	não	Norte (TO) Nordeste (BA, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Ce	Cee (lato sensu)	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas, mariposas	zoocoria/brocoria	LC	LC	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Alves-Araújo & Nichio-Amaral 2025
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D.Penn.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Ca, Ce, MA, Pa	Caa (stricto sensu), Car, Cee (lato sensu), Res, SA	Secundária inicial	Abelhas	zoocoria/brocoria	DD	LC	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Carvalho 2014; Alves-Araújo et al. 2025

<i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.	Árvore	Não	Norte (RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Amz, Ca, Ce	Cee (lato sensu), FC	Pioneira	Abelhas	zoocoria	NE	LC	Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; Devecchi et al. 2025
<i>Solanum poinsettiiifolium</i> Rusby	Arbusto	Sim	Norte (TO), Centro-Oeste (MS, MT)	Ce, Pa	Cee (lato sensu), FC	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas	zoocoria	NE	DD	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (RO) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Ce, MA	CL, CR, Cee (lato sensu), FC, FES	Secundária tardia	Abelhas, vespas	zoocoria	NE	LC	Lorenzi 1992; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Romão et al. 2025

<i>Ampelocera glabra</i> Kuhl.	Árvore	Sim	Nordeste (BA) Centro-Oeste (MT) Sudeste (ES, MG, RJ)	MA, Pa	FO (Floresta Pluvial)	S/I	S/I	zoocoria	LC	DD	Abreu et al. 2014; Pederneiras & Machado 2017; Machado 2025
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, RS, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pam, Pa	AA, Cee (lato sensu), FC, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM, Res	Alimentícios, medicinal, caixotaria	zoocoria	S/I	NE		Carvalho 2006; Consolin et al. 2006; Schinella et al. 2008; Aragão et al. 2010; Mello Cruz et al. 2013; Passos 2019;

<i>Rinorea ovalifolia</i> (Britton) S.F.Blake	Arbusto/Árvore	Sim	Norte (AC, AM, PA, RO, RR, TO), Nordeste (MA), Centro-Oeste (MS, MT)	Amz, Pa	FTF, FES, FO (Floresta Pluvial)	S/I	S/I	S/I	LC	DD	Hoyos-Gómez & Paula-Souza 2025
<i>Cissus erosa</i> Rich.	Arbusto	Sim	Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	AA, Cam, CV, CL, CR, Car, Cee (lato sensu), FC, Flg, FTF, FV, FED, FEP, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM, Pal, Res, SA, VAR	S/I	Vespas	zoocoria	DD	DD	Pott & Pott 1994; Zabatier o et al. 2024; Picanço & Limbardi 2025

<i>Callisthen e fasciculat a Mart.</i>	Árvore	Não	Norte (PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, RJ, SP)	Amz, Ca, Ce, Pa	Caa (stricto sensu), Cee (lato sensu), FC, FES	Secundária tardia/Climá x	Abelhas	anemocori a	NE	LC	Custódio 2011; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025a
<i>Callisthen e major Mart.</i>	Árvore	Sim	Norte (TO) Nordeste (BA) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG)	Ca, Ce, MA, Pa	CR, Cee (lato sensu), FC, VAR	Secundária tardia/Climá x	Abelhas, borboletas, mariposas, vespas	anemocori a	LC	LC	Afonso 1994; Custódio 2011; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025b

<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AC, AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu)	Pioneira/Secundária inicial	Mariposas, beija-flores, besouros	anemocori-a	NE	LC	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Carvalho 2003; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu), VAR	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas, beija-flores	anemocori-a	NE	DD	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025

<i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil.	Árvore	Não	Norte (AM, AP, PA, RO, TO) Nordeste (BA, CE, MA, PI) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (MG, SP))	Amz, Ca, Ce, MA, Pa	Cee (lato sensu), SA	Secundária tardia/Climáx	Abelhas, mariposas, beija-flores, morcegos	anemocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025
<i>Vochysia divergens</i> Pohl	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (BA, MA) Centro-Oeste (GO, MS, MT)	Amz, Ce, Pa	Cee (lato sensu), FC	Pioneira/Secundária inicial	Abelhas, beija-flores, borboletas, macacos	anemocoria	NE	DD	Pott & Pott 1994; Carvalho 2014; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025

<i>Ximenia americana</i> L.	Arbusto/Árvore	Não	Norte (AM, PA, RO, TO) Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) Sudeste (ES, MG, RJ, SP) Sul (PR, SC)	Amz, Ca, Ce, MA, Pa, Pam	FED, FES, FO (Floresta Pluvial), FOM	S/I	Abelhas	zoocoria/brocoria	NE	LC	Pott & Pott 1994; Costa-Lima & Chagas 2025
-----------------------------	----------------	-----	--	--------------------------	--------------------------------------	-----	---------	-------------------	----	----	--

Nota: Os nomes entre colchetes [] indicam a nomenclatura científica desatualizada da espécie, conforme encontrada na Flora e Funga do Brasil. Distribuição Geográfica: Acre – AC; Alagoas – AL; Amapá – AP; Amazonas – AM; Bahia – BA; Ceará – CE; Distrito Federal – DF; Espírito Santo – ES; Goiás – GO; Maranhão – MA; Mato Grosso – MT; Mato Grosso do Sul – MS; Minas Gerais – MG; Pará – PA; Paraíba – PB; Paraná – PR; Pernambuco – PE; Piauí – PI; Rio de Janeiro – RJ; Rio Grande do Norte – RN; Rio Grande do Sul – RS; Rondônia – RO; Roraima – RR; Santa Catarina – SC; São Paulo – SP; Sergipe – SE; Tocantins – TO. Domínios Fitogeográficos: Amz: Amazônia; Ce: Cerrado; MA: Mata Atlântica; Pa: Pantanal; Ca: Caatinga; Pam: Pampa. Tipos de vegetação: AA – Área Antrópica, Caa – Caatinga, Cam – Campinarana, Car – Carrasco, Cee – Cerrado (senso lato), CA - Campo de Altitude, CL – Campo Limpo, CR – Campo Rupestre, CV – Campo de Várzea, FED – Floresta Estacional Decidual, FEP – Floresta Estacional Perenifolia, FES – Floresta Estacional Semidecidual, FC – Floresta Ciliar ou de Galeria, Flg – Floresta de Igapó, FO – Floresta Ombrófila, FOM - Floresta Ombrófila Mista, FTF – Floresta de Terra Firme, FV – Floresta de Várzea, Palmeiral - Pal, Man – Manguezal, Res – Restinga, SA – Savana Amazônica, VA - Vegetação Aquática e VAR – Vegetação sobre Afloramento Rochosos.

Apêndice E - Caracterização de espécies nativas indicadas para restauração ecológica no bioma Pantanal. A tabela apresenta informações taxonômicas (família, gênero, espécie), nomes populares e usos etnobotânicos, e as respectivas fontes bibliográficas utilizadas para embasamento.

Família	Gênero	Espécie	Nome Popular	Uso etnobotânico	Citação
Anacardiaceae	<i>Anacardium</i> L.	<i>Anacardium humile</i> A.St.-Hil.	Cajuzinho, Caju, Caju-do-Cerrado, Cajuzinho-do-campo, Cajuí, caju-mirim, caju-anão	Alimentício, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina	Mitchell & Mori 1987; Mendonça et al. 1998; Santos 2004; Agostini-costa et al. 2016; Ronquim 2021; Silva-Luz et al. 2025
		<i>Anacardium occidentale</i> L.	Acajaiba, Cajueiro, Cajuí, Cajueiro-do- Cerrado, Cajueiro-do- campo	Alimentício, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, tintorial	Mendonça et al. 1998; Agostini-costa et al. 2016; Ronquim 2021; Silva-Luz et al. 2025

	<i>Astronium</i> Jacq.	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Jequira, Pau-gonçalves, Gonçalave, Gonçalo-alves, Aroeira, Gonçalo, Arueira-brava, Arueira-da-mata, Gonçalves, Garapeiro, Aroeira-do-campo, Chibatã, Ubatã, Sete-cascas, Birito, Aroeira-mole, Aroeira-vermelha, Angelim	Aromático, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Lorenzi 1992; Carvalho 2010; Feitosa et al. 2011; Leite 2002; Macêdo et al. 2016; Alves et al. 2020; Silva-Luz et al. 2025
		<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl. [<i>Myracrodruon urundeuva</i> M. Allemão]	Aroeira, urindeuva, aroeira-do-sertão, aroeira-do-Cerrado, pandeiro, almecega, urundeuva, aroeira-preta, aroeira-do-campo, aroeira-da-serra, arindeúva, arendiúva	Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina, Tanífero, Cultural/ritualístico	Pott & Pott 1994; Almeida et al 1998; Carvalho 2003; Silva-Luz et al 2025

	<i>Schinopsis</i> Engl.	<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Quebracho-colorado, Braúna, Chamacoco, Pau-preto, Quebracho, Baraúna-do-sertão, Baraúna	Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Carvalho 2008; Ribeiro et al. 2023; Silva-Luz et al. 2025
	<i>Spondias</i> L.	<i>Spondias mombin</i> L.	Taperebá, Cajá, Cajazeira, Taperebá-de-anta, Taperebá-de-veado, Cajazeira-brava, Cajá-da-mata, Acaiá, Caiá, Cajá-miúdo, Cajazeiro-miúdo, Cajarana, Cajá-mirim, Cajá-pequeno	Alimentício, Artesanal, Celulose, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; Silva-Luz et al. 2025

	<i>Tapirira</i> Aubl.	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Tapirira, Cupiúva, Fruto De Pombo, Pau Pombo, Tapiriri, Cupiúba, Pau-pomba, Saboeiro E Tatapiririca, Pau- pombo-vermelho, Fruta-de-pombo, Mangueirinha, Peito- de-pomba, Pombeiro, Tapirirá, Tapiririca, Tatapirica, Tatapiririca, Cupiúba, Camboatá, Cupiúva, Cupiúva-vermelha, Cedro-í, Copiúva, Pau-pombo, Peito-de- pomba, Peito-de- pombo, Pombeiro, Pau-de-pomba	Artesanal, Celulose, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Silva-Luz et al. 2025
Annonaceae	<i>Annona</i> L.	<i>Annona aurantiaca</i> Barb.Rodr.	Brutinho, araticum-de- cabo-verde	Alimentício, Artesanal, Medicinal, Ornamental	Cavalcante et al. 2009; Mattos et al. 2009; Mendes-Silva et al. 2025

		<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Marolo, Araticum-cortiça, Araticum-de-boia, Araticum-dos-grandes, Araticum-do-campo, Acanga, Araticum-do-mato, Araticum, Tapanahuacanga	Alimentício, Artesanal, Cortiça, Madeireiro, Medicinal, Ornamental	Carpanezi 2001; Cavalcante et al. 2009; Mendes-Silva et al. 2025
		<i>Annona malmeana</i> R.E.Fr.	araticunzinho	Alimentício, Artesanal, Medicinal, Ornamental	Carpanezi 2001; Cavalcante et al. 2009; Mendes-Silva et al. 2025
		<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil.	alchexú, araticú, affenbeeren, araticú-do-mata, araticum, araticum-grande, bananinha, biribá, cortiça, cortiça-de-comer, embira-vermelha, pinha	Alimentício, Artesanal, Medicinal, Ornamental	Carpanezi 2001; Cavalcante et al. 2009; Gazzola 2021; Mendes-Silva et al. 2025

	<i>Xylopi</i> L.	<i>Xylopi</i> <i>aromatica</i> (Lam.) Mart.	Pimenta-de-macaco, Imbiriba, Envireira, Begerecum, Imbiriba E Pimentinha, Pimenta-de-bugre, Envira-preta, Pindaíba, Pachinhos, Pimenta, Pimenta-de-gentio, Pimenta-de-macaco, Pimenta-de-negro, Pimenteira, Pindaíba-do-campo, Envireira, Pindaíva, Bananinha, Cedro-do-campo, Pimenteira, Pindaíba-do-Ce	Alimentício, Artesanal, Aromático, Condimento, Cosmético, Forrageiro, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Oleaginoso, Ornamental	Almeida et al. 1998; Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> Mart. & Zucc.	<i>Aspidosperma australe</i> Müll. Arg.	Guatambu, Guatambu-amarelo, Peroba, Peroba-branca, Pereiro, Peroba-tambu, Pequiá, Tambú-verde E Tambú-canudo.	Madeireiro, Ornamental, Tanífero, Tintorial	Morellato 1991; Pott & Pott 994; Lorenzi 1998; Carvalho 2006; Castello et al. 2025a
		<i>Aspidosperma flaviflorum</i> Machate	Peroba	Artesanal, Madereira, Melífero, Ornamental	Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; Castello et al. 2025b

		<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	Pereiro, Peroba-comum, Peroba, Peroba-açu, Perobamirim, Perobeira, Pereiro, Pereiro-branco, Pereiro-preto, Peroba-rosa, Trevo, Pereiro-vermelho, Pau-pereiro, Pereiro-de-saia	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Morellato 1991; Carvalho 2010; Castello et al. 2025c
		<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schltdl.	Quebracho-branco, Quina	Madeireiro, Medicinal, Ornamental, Tanífero, Tintorial	Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; Castello et al. 2025d
		<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	Guatambu-vermelho, Car, Pau-pereira-domato, Guatambu, Perobinha, Pau-pereira-do-campo, Pereira-do-campo, Peroba-branca, Pereiro	Artesanal, Madeireiro	Morellato 1991; Carvalho 2006; Carvalho 2014; Castello et al. 2025e

		<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Guatambú-do-Cerrado Peroba-do-Cerrado Peroba-do-cambo, Pau-pereira-do-campo, Pereira-do-campo, Taroba	Artesanal, Cortiça, Madeireiro, Ornamental	Morellato 1991; Moreira & Guarim-Neto 2009; Carvalho 2014; Castello et al. 2025f
	<i>Hancornia</i> Gomes	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Mangaba, Mangabeira, Mangava	Alimentício, Condimento, Forrageiro, Latex, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
Arecaceae	<i>Acrocomia</i> Mart.	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq) Lodd. ex Mart.	Bocaiuva, Macaúba, Coco-babão, Coco-babosa, Coco-macaúba, Coqueiro-de-espinho, Macajuba, Macaibeira, Palmeira-macaúva, Coquinho	Alimentício, Artesanal, Celulose, Forrageiro, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, Goma/espessante	Pott & Pott 1994; Brito 2013; Souza et al. 2020; Vianna & Campos-Rocha 2025
	<i>Attalea</i> Kunth	<i>Attalea phalerata</i> Mart. ex Spreng.	Auacuri, Cabeçudo, Coqueiro-acuri, Guacuri, Ganguri, Acuri, Bacuri, Urucuri, Motacú, Urucuri, Shapaja	Alimentício, Artesanal, Cortiça, Condimento, Forrageiro, Fibra, Medicinal, Melífero, Ornamental	Negrelle 2015; Ribeiro et al. 2023; Soares 2025a

		<i>Attalea speciosa</i> Mart. ex Spreng.	Babaçu, coco- palmeira	Alimentício, Artesanal, Condimento, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Oleaginoso, Ornamental, Goma/espessante	Ribeiro et al. 2023; Santos 2025; Soares 2025b
	<i>Copernicia</i> Mart. ex Endl.	<i>Copernicia alba</i> Morong	Carandá, Carandeiro, Carandaí	Alimentício, Artesanal, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental	Pott & Pott 1994; Jorge et al 2014; Araujo & Lobo 2020; Vianna 2025
	<i>Mauritia</i> L.f.	<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	buriti, caraná, caraná- do-mato, buritirana, miritirana, miriti, miriti, muri, carandaí- guaçu, moriche, canangucho, morete, aguaje, bororo, baché	Alimentício, Artesanal, Aromático, Cosmético, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Oleaginoso, Ornamental, Tintorial	Lorenzi 1992; Almeida et al. 1998; Ribeirao et al. 2023; Vianna 2025
	<i>Syagrus</i> Mart.	<i>Syagrus flexuosa</i> (Mart.) Becc.	Coquinho-babão, Acumã, Acuman	Alimentício	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Soares 2025
Asteraceae	<i>Aspilia</i> Thouars	<i>Aspilia floribunda</i> (Gardner) Baker	S/I	Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Santos et al. 2025a
		<i>Aspilia grazielae</i> J.U.Santos	S/I	Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Santos et al. 2025b

	<i>Calea</i> L.	<i>Calea lantanoides</i> Gardner	S/I	Ornamental	Silva & Teles 2018; Silva 2019; JBRJ 2025b
Bignoniaceae	<i>Cybistax</i> Mart.	<i>Cybistax</i> <i>antisiphilitica</i> (Mart.) Mart.	Ipê-verde, caroba-de-flor-verde, caroba-do-campo, espeguilla, fava-de-aranha, caroba-de-flor-verde, ipê-de-flor-verde, ipê-mandioca, ipê-mirim, llangua, llangua colorado, orcco-huoranhua, pau-de-mulato, taiiy hobby, yangua, yangua caspi, yangua tinctoria, carobinha-verde, cinco-chagas, ipê-pardo	Artesanal, Madeireiro, Medicinal, Ornamental, Tintorial	Lorenzi 1992; Lohmann 2025
	<i>Handroanthus</i> Mattos	<i>Handroanthus</i> <i>heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Ipe, Ipe-roxo, Ipe-roxo-de-sete-folhas, Ipe-preto, Ipe-rosa, Pau-d'arco-roxo, Piúva, Piúva-do-Pa, Piúva-do-campo, Piúva-roxa, Peúva	Artesanal, Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 2002; Lohmann 2025

		<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipê-roxo-de-bolo, Ipê-roxo, Pau-d'arco-roxo, Ipê-roxo-de-bola, Ipê-uma, Ipê-preto, Pau-cachorro, Ipê-de-minas, Ipê-roxo-grande, Piúna, Piúna-roxa, Piuva-da-mata, Piuva-da-folha-larga, Piuva-roxa, Piuva-preta	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Barbosa-Filho et al. 2004; Antunes et al. 2006; Warashina et al. 2006; Budni et al. 2007; Souza et al. 2008; Coelho et al. 2010; Fonseca-Filho et al. 2017; Ribeiro et al. 2023; Lohmann 2025
		<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Ipê-do-Cerrado Piúva-cascuda, Piúva-cabeluda, Ipê-amarelo, Ipê-cascudo, Ipê-do-campo, Ipê-pardo, Tarumã	Artesanal, Madeireiro, Medicinal, Ornamental, Tintorial	Ribeiro et al. 2023; Lohamann 2025
	<i>Jacaranda</i> Juss.	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	Caroba, Bolacheira, Carobinha, Jacarandá, pará-parai-guazú, Paraparaú	Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 1992; Carvalho 2003; Farias-Singer 2025
		<i>Jacaranda mutabilis</i> Hassl.	S/I	Medicinal, Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Farias-Singer 2025

	<i>Tabebuia</i> Gomes ex DC.	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F ex S. Moore	Ipê-caraíba, Caraíba, Caraíba-do-Cerrado Carobeira, Claraíba, Crabeira, Caraúba, Ipê-do-Cerrado Carnaúba, Ipê, Paratudo, Piúva- amarela, Pratudinho, Craibeira, Craibeira, Para-tudo-do-campo, Craíba, Ipê-do- campo, Pau-d'arco- do-campo, Ipê- amarelo-do-Cerrado cinco-folhas-do- campo	Cortiça, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tintorial	Ribeiro et al. 2023; Lohmann 2025
		<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb.	Palo cruz	Cortiça, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tintorial	Ribeiro et al. 2023; Lohmann 2025
		<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	Ipê-branco, Piuxinga, Piruxinga, Pertinga, Piúva-branca, Pau- d'arco, Ipê-do-Ce	Madeireiro, Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Lohmann 2025

Bixaceae	<i>Cochlospermum</i> Kunth	<i>Cochlospermum</i> <i>regium</i> (Mart. ex Schränk) Pilg.	Algodãozinho-do- Cerrado Algodãozinho, Algodão-bravo, Butuá-de-corvo, Pacote, Periquiteira- do-campo, Rui-barbo- do-campo, Samaumá- do-iaguapó	Forrageiro, Medicinal, Ornamental	Camillo 2009; Camillo et al. 2018; Ribeiro et al. 2023; Antar 2025a
----------	-------------------------------	---	--	--------------------------------------	---

Burseraceae	<i>Protium</i> Burm.f.	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Isiga, Guapeva, Almecegueira- cheirosa, Amecega, Amescla, Amescla- de-cheiro, Amescla- cheirosa, Amescla-de- resina, Breu, Amescla-mirim, Breu- branco-da-praia, Almesca, Almíscar, Amescla, Amescla- cheirosa E Breu- vermelho, Ameciqueira, Armesca, Amécicla, Almecega-cascuda, Breu-branco, Breu- cascudo, Breu- vermelho, Carne-de- vaca, Folha, Mangueira-brava, Mangueira-d-mato, Mangueirinha E Margaridinha, Cicatã, Almecega-brava, Amescla-aroeira,	Alimentício, Aromático, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, Resina	Lorenzi 1992; Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
-------------	------------------------	---	---	---	--

			Amescla-de-cheiro, Incenso, Almaceagueira, Almecegueira, Almesca, Animé, Breu, Breu-almesca, Mangue E Ubiracica		
--	--	--	--	--	--

Calophyllaceae	<i>Calophyllum</i> L.	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Landim, Bálsamo-jacaréuba, Beleza, Landinho, Cedro-mangue, Cedro-do-pântano, Guanandi-amarelo, Guanandicarvalho, Guanandipoca, Guanandicedro, Guanandi-jaca, Guanandi-landim, Jacaríuba, Olandicarvalho, Guanandilombriga, Guanandivermelho, Guanantim, Inglês, Lantim, Oanandí, Oonandi, Pau-de-maria, Gulanvin-carvalho, Jacareíba, Landicarvalho, Jacaréuba	Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, Resina, Tanífero	Carvalho 2003; Santos et al. 2016; Ribeiro et al. 2023; Cabral 2025a
	<i>Kielmeyera</i> Mart. & Zucc.	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Pau-santo, Folhasanta, Saco-de-boi, Pau-de-santo, Pau-de-são-josé, Gordiana	Artesanal, Cortiça, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Resina, Tintorial	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Trad 2025

Cannabaceae	<i>Celtis</i> L.	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg. [<i>Celtis pubescens</i> (Kunth) Spreng.]	Rouba-tempo, Taleira, Esporão-de-galo, Limãozinho, Quineira, Espinheiro, Grupeiro, Gurupiá, Cruzeirinho, Grão-de-galo, Cipó-espinho, Coatindiba, Corindiba, Juá-mirim, Juvevê, cipó-farinha-seca, cipó-laranjinha, grão-de-galo, gumbixava	Alimentício, Artesanal, Madeireiro	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025d
	<i>Trema</i> Lour.	<i>Trema micranthum</i> (L.) Blume [<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume]	Piriquiteira, Grandiúva, Pau-pólvora, Crindiúva, Orindeúva, Coatidiba, Orindiba, Gurindiba, Candiúba, Taleira, Motamba, Seríúva, Cambriúva, Quindiúva, Crindiúva, Amora-brava, Chico-magro.	Artesanal, Forrageiro, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Resina	Lorenzi 2000; Machado 2025

Capparaceae	<i>Anisocapparis</i> Cornejo & Iltis	<i>Anisocapparis speciosa</i> (Griseb.) Cornejo & Iltis	Mangaba-brava, Pau-verde	Alimentício, Forrageiro, Melífero, Ornamental	Schlindwein et al. 2012; Carvalho et al. 2016; Bortolotto et al. 2018; Silva Junior et al. 2018; Soares & Lubner 2025
	<i>Crateva</i> L.	<i>Crateva tapia</i> L.	Cabaceira, Cabaceira-do-Pa, Cabeceira, Crataeva Tapia, capança, catauré, trapiá, fruto-de-macaco	Alimentício, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Machado et al. 2004; Soares Neto & Lubner 2025
	<i>Cynophalla</i> (DC.) J.Presl	<i>Cynophalla declinata</i> (Vell.) Iltis & Cornejo	S/I	Ornamental	Soares Neto & Lubner 2025
		<i>Cynophalla mattogrossensis</i> (Pilg.) Cornejo & Iltis	S/I	Ornamental	Soares Neto & Lubner 2025
	<i>Monilcarpa</i> Cornejo & Iltis	<i>Monilcarpa brasiliiana</i> (Banks ex DC.) Cornejo & Iltis	Feijão-de-boi	Ornamental	Soares Neto & Lubner 2025
Caricaceae	<i>Jacaratia</i> A.DC.	<i>Jacaratia corumbensis</i> Kuntze	Mamãozinho, Mamão-de-veado, Chamburu	Alimentício, Forrageiro, Melífero	Pott & Pott 1994; Carvalho 2006; Martins & Carvalho 2025

Caryocaraceae	<i>Caryocar</i> L.	<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Pequizeiro, Pequiá, Pequiá-verdadeiro, Pequiá-vermelho, Pitiá, Pequi, Pequi-do- Cerrado Saco-de- bode	Alimentício, Condimento, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Gomes et al. 2018; Aquino et al. 2023; Ribeiro et al. 2023; Prance & Pirani 2025
Celastraceae	<i>Salacia</i> L.	<i>Salacia elliptica</i> (Mart.) G. Don	Siputá, Saputá, Bacupari, laranjinha- do-mato, sete-capas	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Biral & Lombardi 2025
Chrysobalanaceae	<i>Couepia</i> Aubl.	<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth.	Genciana, Suquiana, Oiti, Uiti, Utirana, Fruta-da-ema, Oiti- das-gerais, Farinha- seca	Madeireiro, Melífero, Ornamental	Pott & Pott 1994; Sothers et al. 2025
Clusiaceae	<i>Garcinia</i> L.	<i>Garcinia brasiliensis</i> Mart.	Bacuri, Bacuripari- liso, Bacu, Bacopari- do-rio, Bacuripari, Limão-do-mato, Poroco, Sacopari, Bacupari, Cupari, Acopari, Acupari	Alimentício, Condimento, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Ornamental, Tanífero	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

Combretaceae	<i>Terminalia</i> L.	<i>Terminalia corrugata</i> (Ducke) Gere & Boatwr. [<i>Buchenavia</i> <i>tomentosa</i> Eichler]	Pau-pilão, Tarumarana, Cuiarana, Pebanheira, Imbuzeiro, miringiba, biriba, piá-banheira, merindiba, mijol, pau- pilão, cambuy	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Lorenzi 2009; Carvalho 2010; Teodoro et al 2018; Farias et al. 2015; Ribeiro et al. 2025; Souza et al. 2025
		<i>Combretum</i> <i>duarteanum</i> Cambess.	Caa-branca, Vaqueta, Gabiobinha, Mofumbo, Jacarezinho, rasteira, cipaúba-rasteira, mofumbo-de-louro, enigma, mirueira, cipauba	Melífero, Ornamental	Gomes & Quirino 2016; Ribeiro et al. 2023; 2025
		<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Carne-de-vaca	Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Gomes & Quirino 2016; Ribeiro et al. 2023; 2025

		<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Canudeiro, garote, tanimbuca-amarela, miringiba, capitão, capitão-do-campo, capitão-do-Cerrado mirindiba, pau-de- bicho, pau-garrote, macruá, cuiariana, cahaporra-do-gentio	Artesanal, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Pott & Pott 1994; Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; 2025
Connaraceae	<i>Connarus</i> L.	<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Araruta-do-campo, Galinha-choca, Cabelo-de-nego, Podoio, Aceitona- brava, Pau-ferro	Artesanal, Cortiça, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Ribeiro et al. 2023; Toledo & Souza 2025
Cordiaceae	<i>Cordia</i> L.	<i>Cordia brasiliensis</i> (I.M.Johnst.) Gottschling & J.S.Mill.	Erva-baleeira, Catinga-de-barão, Catinga-preta, Maria- preta, Maria- milagrosa, Salicina, Camarinha, Camaroneira-do-brejo	Forrageiro, melífero, ornamental	Gasparino 2005; Morandi 2010; Carvalho 2003; 2006; 2008; JBRJ 2025

		<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A.DC.	Peteribi, Claraíba, Louro-preto, Piquana- negra, Claraibeira, Louro-de-mato- grosso, Louro-branco	Artesanal, Madeireiro, Melífero, Ornamental	Carvalho 2003; 2006; 2008; Gasparino 2005; Morandi 2010; Melo et al. 2023; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
		<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	Juruté, Chá-de-bugre, Louro-mole, Louro, freijó-branco, Catuteiro-branco, Mata Fome, Capitão- do-mato	Artesanal, Ornamental	Carvalho 2003; 2006; 2008; Gasparino 2005; Morandi 2010; JBRJ 2025
Dilleniaceae	<i>Curatella</i> Loefl.	<i>Curatella americana</i> L.	Lixeira, Lixa, Cajueiro- bravo, Caimbé, Cajueiro-bravo-do- campo, Pentieira, Sambaíba, Cajueiro- do-mato, Cambarba, Marajoara, Sandpaper Tree	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero, Tintorial	Ribeiro et al. 2023; Muniz 2025
	<i>Davilla</i> Vand.	<i>Davilla elliptica</i> A.St.- Hil.	Lixeirinha	Artesanal, Medicinal, Ornamental, Tanífero, Tintorial	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Fraga 2025

Ebenaceae	<i>Diospyros</i> L.	<i>Diospyros lasiocalyx</i> (Mart.) B.Walln.	Caquizeiro-do-mato, Fruta-de-boi, Fruta-de-jacu-fêmea, Caqui-do-Cerrado Bacupari-bravo, Olho-de-boi	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Melífero, Ornamental, Tóxico Para Animais	Tabarelli et al. 2005; Mamede & Pasa 2019; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum</i> P.Browne	<i>Erythroxylum anguifugum</i> Mart.	Fruta-de-pomba	Melífero, ornamental	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i> Sw.	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	Alcórnea, Caixeta-branca, Canela-samambaia, Malacaxeta, Tamanqueira, Tapiazeiro, Tapiá-guaçu-branco, Algodoeiro, Boleiro, Cebolão, Taneiro, Tapiá-açu, Ará-de-espinho, Aricurana, Canela-raposa, Sangue-de-drago, Tapiá-vermelho, Jangada, Sete-cascas, Supiarana-igapó, Tanheiro, Tapi, Boleiro, Tanheiro,	Artesanal, Latex, Madeireiro, Melífero, Tanífero	Kuhlmann & Kuhn 1947; Moraes 1992; Steinbach & Longo 1992; Carvalho 2006

			Tapiá, Tanho		
	<i>Cnidoscolus</i> Pohl	<i>Cnidoscolus cervii</i> Fern.Casas	S/I	Ornamental	Maya-Lastra et al. 2025
	<i>Croton</i> L.	<i>Croton cinerellus</i> Müll.Arg.	S/I	Artesanal, melífero, ornamental	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
		<i>Croton corumbensis</i> S.Moore	Malva	Artesanal, melífero, ornamental	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

		<i>Croton glyptospermus</i> Müll.Arg.	S/I	Artesanal, melífero, ornamental	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
		<i>Croton subglaber</i> K.Schum.	S/I	Artesanal, melífero, ornamental	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
	<i>Jatropha</i> L.	<i>Jatropha martiusii</i> (Pohl) Baill.	Pinhão	Alimentício	Bigio et al. 2025
		<i>Jatropha ribifolia</i> (Pohl) Baill.	Pião, pinhão-miudo, pinhão-pequeno, pinhãozinho	Alimentício	Bigio et al. 2025
		<i>Jatropha weddeliana</i> Baill.	Pinhão	Alimentício	Bigio et al. 2025
	<i>Mabea</i> Aubl.	<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	Canudeiro, Canudo- de-cachimbo, Mamoneira-do-mato, Mamona-do-mato, Raiz-de-tiú, Mamoninha, Manoneiro, Mamoninha-do-mato, canudo-de-pito, Leiteiro, piteiro, seringai, canudinho, canudeiro, canudo- vermelha	Artesanal, Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 2002; Oliveira & Hopkins 2025; Cordeiro 2025

Fabaceae	<i>Albizia</i> Durazz.	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	Angico-branco, Farinha-seca, Mulateira, Frango- assado, Canela-de- corvo, Coxa-de- frango, Farinha-seca- de-mico, Manga-do- mato, Pé-de-frango	Madeireiro, Ornamental	Carvalho 2009; Chagas & Dutra 2025
----------	------------------------	---	---	------------------------	---------------------------------------

	<i>Amburana</i> Schwacke & Taub.	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm	Cumaru, Amburana, Amburana-de-cheiro, Angelim, Baru, Cabocla, Cerejeira, Cerejeira-rajada, Cumaré, Cumaru-das- Caas, Cumaru-de- cheiro, Cumaru-do- ceará, Cumbaru, Cumbaru-das-Caas, Emburana, Emburana-de-cheiro, Imburana, Imburana- brava, Imburana- cheirosa, Imburana- de-cheiro, Louro-ingá, Umburana, Umburana-de-cheiro, Umburana-lisa, Umburana-macho, Umburana-vermelha. Na Argentina: Roble, Criollo, Na Bolívia: Tumi, No Paraguai: Palo Trébol, No Peru: Ishpingo.	Artesanal, Aromático, Condimento, Cosmético, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Dias et al. 2007; ALVES & PEREIRA 2016; ARAUJO & Dantas 2018; Carvalho 2020; NASCIMENTO & BRAGA 2022; Santos 2022; Dantas & Kill 2023; Seleme 2025
--	--	---	--	---	---

	<i>Andira</i> Lam.	<i>Andira inermis</i> (W.Wright) DC.	Morcegueira, Uxi-de-morcego	Artesanal, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Ronquim 2021; Abreu et al. 2022; Ramos et al. 2025
	<i>Bauhinia</i> L.	<i>Bauhinia leptantha</i> Malme	Pata-de-vaca, mororó ou unha-de-vaca	Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Carvalho 2003; Vaz & Santos 2025a
		<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	Pé-de-boi, Pata-de-vaca, Pé-de-vaca, Unha-de-vaca	Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Carvalho 2003; Andrade et al. 2021; Ronquim 2021; Vaz & Santos 2025a
	<i>Bowdichia</i> Kunth	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Sucupira-preta, Sucupira-do-campo, Sepifirme, Paricarana, Sucupira, Sucupira-mirim, Sucupira-verdadeira, Sapupura-do-campo, Sucupira-amarela, Sucupira-branca, Sucupira-parda, Sucupira-roxa, Sucupiruçu-branco, Sucupira-do-Cerrado Macanaíba, Macanaíba-parda, Macanaíba-pele-de-sapo	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina, Tanífero	Carvalho 2006; Borgiani et al. 2022; Cardoso et al. 2025

	<i>Cassia</i> L.	<i>Cassia grandis</i> L.f.	Canafístula, Acácia, Acácia-nacional, Canafístula-grande, Cássia, Cássia- grande, Cássia-rosa, Jeneúna, Marimari, Marimari-grande, Marimari-preto, Marimari-sarro, Marimariana, Marzeiro.	Alimentício, Artesanal, Madeireiro, Resina	Carvalho 2003; 2020; Scheidegger & Rando 2025
	<i>Chamaecrista</i> (L.) Moench	<i>Chamaecrista</i> <i>dalbergiifolia</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	Camecrista	Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Rando et al. 2025
	<i>Copaifera</i> L.	<i>Copaifera martii</i> Hayne	Guaranazinho	Alimentício, Forrageiro, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Resina	Carvalho 2005; Lameira et aç. 2020; Moraes & Silva 2023; Ribeiro et al. 2013; Costa 2025
	<i>Dahlstedtia</i> Malme	<i>Dahlstedtia dehiscens</i> M.J Silva & A.M.G. Azevedo	S/I	Ornamental	Silva 2025

	<i>Dimorphandra</i> Schott	<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Fava-de-anta, Faveiro-do-Cerrado Faveira-do-campo, Faveira, Farinha, Barbatimão-de-folha- miuda, Barbatimão- falso, Canafístula	Alimentício, Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Tanífero, Tóxico Para Animais	Ribeiro et al. 2023; Souza et al. 2025
	<i>Dipteryx</i> Schreb.	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Baruzeiro, Barujo, Bauí, Bugreiro, Chuva-de-ouro, Guaicára, Emburena- brava, Fava-de- cumarú, Sucupira- branca, Cumbaru, Cumarú, Baru, Barujo, Coco-feijão, Cumarurana, Emburena-brava, Feijão-coco, Pau- cumarú	Alimentício, Aromático, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental	Carvalho et al. 2025
	<i>Diptychandra</i> Tul.	<i>Diptychandra</i> <i>aurantiaca</i> Tul.	Arca colorada, Carvão-vermelho, Balsemim, bálsamo- do-Ce	Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 1992;

	<i>Enterolobium</i> Mart.	<i>Enterolobium</i> <i>contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Tamboril, Timburi, Timbaúva, Orelha-de- negro, Tambori, Pau- de-sabão, Timbaíba, Orelha-de-preto, Ximbó, Ximbuva, Ximbuveira, Arariba, Arvore-das-patacas, Cambanambi, Chimbo, Chimbuva (MS), Flor-de- algodao, Morango, Orelha-de-macaco (BA, RS,), Orelha-de- onca, Tamboi, Tambuvi, Timboubá E Timbuva (MG), Orelha-de-preto (PA, PR), Pacara, Timboril E Ximbiuva (SP), Tambori, Tamboril (BA, DF, ES, GO, MA, MS, MG, PE, PI, PR, SP), Timbauva- branca, Timbaúva- preta (RS).	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Melífero, Ornamental, Tanífero	Ribeiro et al. 2023; Morim et al. 2025
--	------------------------------	--	---	---	---

	<i>Hymenaea</i> L.	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá-da-mata, Árvore-copal, Castanheiro-de- bugre, Jatí, Óleo-de- jataí, Burandá, Coubaril, Farinheira, Imbiúva, Jataí, Jataí- açu, Jataí-amarelo, Jataí-ibá, Jataí-peba, Jataí-roxo, Jataí- vermelho, Jataíba, Jataica, Jatobá- amarelo, Jatobá-de- anta, Jatobá-da-Caa, Jatobá-do-sertão, Jatobazinho, Quebra- falcão, Jatobá-de- porco, Jatobá-de- vaqueiro, Jatobá- mirim, Jatobá-miúdo, Jatobá-roxo, Jitaí, Jutaí, Jutaí-açu, Jutaí- de-envira, Jutaí-mirim, Jutaí-pororoca, Jutaúba	Alimentício, Artesanal, Celulose, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina, Tanífero, Tintorial	Pott & Pott 1994; Carvalho 2003; Ribeiro et al. 2023; Pinto et al. 2025
--	--------------------	------------------------------	--	---	--

		<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Jatobá-do-Cerrado Jatobá-capão, Jatobá-da-casca-fina, Jatobá, Jatobá-açua, Jatobeiro, Jatobá-do-campo, Jatobá-de-vaqueiro, Jatobai	Alimentício, Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina, Tintorial	Pott & Pott 1994; Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; Pinto et al. 2025
	<i>Inga</i> Mill.	<i>Inga vera</i> Willd.	Ingá, Ingá-do-brejo, Inga-de-quatro-quinas, Ingazeiro, Ingá-banana, Angá	Alimentício, Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Melífero, Ornamental, Tanífero	Carvalho 2008; Garcia & Bonadeu 2025
	<i>Lonchocarpus</i> Kunth	<i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Kunth ex DC.	Falso-ingá, Ingá-bravo, Ingazeiro (CE), Ingá (CE), Cabelouro (BA), Cabelouro-da-Caa, Ingá-bravo (CE), Ingá-de-bucha (CE), Ingá-im, Ingá-penade-buchas (CE), Ingareira-braba, Guará-timbó (CE), Imburana (MA), Piaca (PE), Priaca (PB), Pau-carrapato	Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 1992; 1998; 2002; Silva 2025

	<i>Machaerium</i> Pers.	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	Carvão-branco, Jacarandá-do-campo, Jacarandá-bico-de-papagaio, Bico-de-pato, Guaximbé, Jacarandá-tã	Madeireiro, Medicinal, Ornamental	Almeida et al 1998; Carvalho 2014; Filardi et al. 2025
		<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	Barreiro, Bico De Pato, Jacarandá Bico De Pato, Sete Casacas, Pau-de-angu, Jacarandá De Espinho, Jacarandá-rosa, Espinheira, Barreirinho	Madeireiro, Medicinal, Ornamental	Almeida et al 1998; Carvalho 2014; Filardi et al. 2025
		<i>Machaerium villosum</i> Vogel	Caroba, Jacarandá-paulista, Jacarandá-do-mato, Jacarandá-pardo, Jacarandá-do-cerradão	Madeireiro	Almeida et al 1998; Carvalho 2014; Filardi et al. 2025
	<i>Mimosa</i> L.	<i>Mimosa roseoalba</i> Sav.-Cout. & G. P. Lewis	Mimosa	Ornamental	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
		<i>Mimosa somnians</i> Humb. & Bonpl. ex	Mimosa	Ornamental	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

		Willd.			
	<i>Muelleria</i> L.f.	<i>Muelleria variabilis</i> (RR.Silva & AMG.Azevedo) MJ.Silva & AMG.Azevedo	S/I	Ornamental	Silva 2025
	<i>Peltophorum</i> (Vogel) Benth.	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Farinha-seca, imbirá- puitá, quebra-serra, pijuí, canafista, canafístula, embirá, faveira, puitá, guarucaia, acácia amarela, faveiro, tamboril-bravo, ibirá- puitá	Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero	Lorenzi 1992; Carvalho 2008; Ribeiro et al. 2023; Silva et al 2025
	<i>Lachesiodendron</i> P.G. Ribeiro, L.P. Queiroz & Luckow	<i>Lachesiodendron</i> <i>viridiflorum</i> (Kunth) P.G. Ribeiro, L.P. Queiroz & Luckow [<i>Piptadenia viridiflora</i> (Kunth) Benth.]	Surucucu, espinheiro- de-carcará, espinheiro, inhadê, jacurutu, jacaratu, jiquiri, jiquirizeiro, jucuri, juquiri, sumcuçu, pau- galheiro, zeanapé	Madeireiro, Melífero	Lorenzi 1998; 2002; Queiroz 2025

	<i>Plathymenia</i> Benth.	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Vinhático-do-Cerrado Vinhático-do-campo, Vinhático, Amarelinho, Vinhático-testa-de-boi, Candeia, Pau-de-candeia, Oiteira, Vinhático-castanho, Pau-amarelo, Amarelo, Acende-candeia, Vinhático-branco, Vinhático-rajado	Celulose, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero, Tintorial	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Carvalho 2008; Ribeiro et al 2023; Morim 2025
	<i>Platypodium</i> Vogel	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	Canzileiro, Amendoim-do-campo, Faveiro, Jacarandá-bana, Jacarandá-branco, Amendoim-bravo, Jacarandá-tã, Jacarandazinho, Secupiruna, Uruvalheira	Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 1992; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Lima & Kuntz 2025

	<i>Prosopis</i> L.	<i>Prosopis ruscifolia</i> Griseb.	Algarobo, yacumarim, jacumarim, Pau-de-espino, Neltuma ruscifolia	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Oliveira & Queiroz 2025
	<i>Pterogyne</i> Tul.	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Pau-amendoim, Amendoim-bravo, Amendoim, Madeira-nova, Viraró, Pau-de-fava, Óleo-branco, Madeira-nova, Carne-de-vaca, Bálsamo, Bassourinha, Sucupira, Vilão, Bálsamo, Bálsamo-do-Pa, Bálsamo-bravo, Passarinho	Madeireiro	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Rando et al. 2025
	<i>Senegalia</i> Raf.	<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Espinehiro-preto, Guarucaia, Monjoleiro, Paricá-rana, Paricá-branco	Madeireiro, Melífero, Ornamental, Tanífero	Ribeiro et al. 2023; Terra & Morim 2025
	<i>Senna</i> Mill.	<i>Senna silvestris</i> (Vell.) H.S.Irwin & Barneby	Fedegoso	Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Bortoluzzi et al. 2025
	<i>Stryphnodendron</i> Mart.	<i>Stryphnodendron rotundifolium</i> Mart.	Barbatimão, barbatimão-da-folha-	Madeireiro, Medicinal, Ornamental, Tóxico Para	Ribeiro et al. 2023; Lima et al. 2025

			miúda	Animais	
	<i>Stylosanthes</i> Sw.	<i>Stylosanthes capitata</i> Vogel	Estilosantes	Forrageiro, adubação verde	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
	<i>Swartzia</i> Schreb.	<i>Swartzia jorori</i> Harms	Justa-conta, Sangue-de-bugre, Osso-de-burro	Artesanal, Madeireiro, Repelente	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
	<i>Tachigali</i> Aubl.	<i>Tachigali aurea</i> Tul.	Pau-bosta, Fede-fede, Borão	Madereria, ornamental	Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; Huamantupa-Chuquimaco et al. 2025
	<i>Trischidium</i> Tul.	<i>Trischidium molle</i> (Benth.) H.E.Ireland	Brinquinho	Ornamental	Mansano 2025
	<i>Vatairea</i> Aubl.	<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Angelim, Angelim-do-Cerrado Amargoso, amargo, pau-roxo, sucupira-amargosa, sucupira-preta	Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; Cardoso et al. 2025
Icacinaeae	<i>Casimirella</i> Hassl.	<i>Casimirella diversifolia</i> R.A.Howard	Batata-mairá	Ornamental	Costa et al. 2023; Amorim 2025
		<i>Casimirella lanata</i> R.A.Howard	Batata-mairá	Ornamental	Costa et al. 2023; Amorim 2025

Lamiaceae	<i>Vitex</i> Tour. ex L.	<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng.	Tarumã, Azeitona Do Mato, Tarumã Do Brejo, Pau De Flor, Tarumeiro	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; França 2025
Lauraceae	<i>Mezilaurus</i> Taub.	<i>Mezilaurus vanderwerffii</i> F.M.Alves & Baitello	Tapinhoã	Ornamental	JBRJ 2025
	<i>Nectandra</i> Rol. ex Rottb.	<i>Nectandra gardneri</i> Meisn.	Sassafrão	Ornamental	JBRJ 2025
		<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	Canela-amarela	Ornamental	JBRJ 2025
Loganiaceae	<i>Strychnos</i> L.	<i>Strychnos pseudoquina</i> A.St.-Hil.	Quina, Quina-do- Cerrado Quina-grossa	Alimentício, Cortiça, Madeireiro, Medicinal	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Setubal 2025

Lythraceae	<i>Lafoensia</i> Vand.	<i>Lafoensia pacari</i> A.St.Hil.	Mangava-brava, Mangabeira-brava, Dedal, Dedaleira- amarela, Pacari, Dedaleiro, Pacari-do- mato, Pacari-do- sertão, Pacuri, Louro- da-serra, Mangaba- brava, Candeia-de- caju, Copinho, Dedal, Mangabeira-brava, Pau-de-bicho	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tintorial	Pott & Pott 1994; Carvalho 2003; Cavalcanti 2025
Malpighiaceae	<i>Bronwenia</i> W.R.Anderson & C.C.Davis	<i>Bronwenia</i> <i>longipilifera</i> (B.Gates) W.R.Anderson & C.C.Davis *	S/I	Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Almeida 2025
	<i>Byrsonima</i> Rich.	<i>Byrsonima</i> <i>coccolobifolia</i> Kunth	Sumanera, Semanera, Somanera, Murici- rosa	Alimentício, Artesanal, Madeireiro, Melífero	Barbosa et al. 2005; Batista et al. 2005; Stefanello et al. 2009; Amorim & De Marco 2011; Mendes et al. 2011; Ribeiro et al. 2023; Francener & Almeida 2025a

		<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	Muricí anão do campo	Alimentício, Ornamental, Medicinal	Moreira 2010; Mendes et al. 2011; Magalhães et al. 2013; Ribeiro et al. 2023; Francener & Almeida 2025b
		<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	Murici-da-mata	Alimentício, Ornamental, Medicinal	Mendes et al. 2011; Ribeiro et al. 2023; Francener & Almeida 2025c
		<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Murici-de-tabuleiro	Alimentício, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero, Tintorial	Batista et al. 2005; Mendes et al. 2011; Silva et al. 2017; Araujo et al. 2018; Ribeiro et al. 2023; Francener & Almeida 2025d
	<i>Heteropterys</i> Kunth	<i>Heteropterys corumbensis</i> Kuntze	S/I	Ornamental, melífero	Ribeiro et al. 2023; Pessoa et al. 2025
Malvaceae	<i>Apeiba</i> Aubl.	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	Pente-de-macaco, Malva-pente-de- macaco, Jangada, Jangada-macho, Pau- de-jangada, Piúba, Embira-branca, Escova-de-macaco, Balseiro, Pau-de- balsa, Pente-de- macaco, Solta-	Artesanal, Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 2002; Carvalho 2010; Colli-Silva 2025

			cavaco, Cortiça		
	<i>Ceiba</i> Mill.	<i>Ceiba pubiflora</i> (A. St.-Hil.) K. Schum.	Barriguda	Medicinal, Melífero, Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Carvalho-Sobrinho 2025
	<i>Eriotheca</i> Schott & Endl.	<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	Paineira, Imbiru, Binguinha, Bingueiro, Embira, Embira-de-folhas-lisas, Paineira-do-campo, Paineirinha	Artesanal, Madeireiro, Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Duarte & Yoshikawa 2025
	<i>Guazuma</i> Adans.	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutamba	Alimentício, Artesanal, Forrageiro, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, Tanífero	Carvalho 2008; Pereira et al. 2019; Colli-Silva 2025

	<i>Helicteres</i> L.	<i>Helicteres corylifolia</i> Nees & Mart.	S/I	Forrageiro, ornamental, medicinal	Pott & Pott 1994; Colli-Silva & Antar 2025
	<i>Luehea</i> Willd.	<i>Luehea candicans</i> Mart.	Açoita-cavalo, Mutamba-preta	Artesanal, Madeireiro, Ornamental, Tanífero	Lorenzi 1998; Carvalho 2006; Gerace & Bovini 2025
		<i>Luehea paniculata</i> Mart.	Açoita-cavalo, Açoita- cavalo-amarelo, Envireira-do-campo	Artesanal, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Ornamental	Almeida et al. 1998; Lorenzi 1998; Gerace & Bovini 2025
	<i>Pseudabutilon</i> R.E.Fr.	<i>Pseudabutilon</i> <i>benense</i> (Britton) Fryxell	S/I	Ornamental	Bovini 2025
	<i>Pseudobombax</i> Dugand	<i>Pseudobombax</i> <i>longiflorum</i> (Mart.) A.Robyns	Embiruçu, Imbiruçu, Embiruçu-do-mato, Manonarana, Ibiruçu, Paineira-lisa, Paineira-rosada	Artesanal, Fibra, Ornamental	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; Ribeiro et al. 2023; Carvalho- Sobrinho & Yoshikawa 2025
	<i>Sterculia</i> L.	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	Mandovi, Manduvi, Manduvizeiro, Amendoim-de-bugre, Panama tree	Alimentício, Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Oleaginoso, Ornamental	Pott & Pott 1994; Drovak et al. 1998; Lorenzi 2002; Fenner et al. 2006; Santos Júnior. et al. 2006; 2010; Tania et al. 2013; Fontoura et al. 2015; Ferreira et al. 2017; Mosca et al. 2018; Ribeiro et al. 2023; Colli-Silva et al 2025

		<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	Chichá-do-Cerrado Xixá, Chichá, Mendubi-guaçu, Mandovi, Amendoim-de-cutia, Amendoim-de-macaco, Arachachá, Arichichá, Castanha-de-macaco, Castanheiro-do-mato, Chichá-do-mato, Pau-rei	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Colli-Silva et al. 2025
	<i>Wissadula</i> Medik.	<i>Wissadula amplissima</i> (L.) R.E.Fr.	S/I	Ornamental	Bovini 2025
		<i>Wissadula delicata</i> Bovini	S/I	Ornamental	Bovini 2025
		<i>Wissadula stipulata</i> Bovini	S/I	Ornamental	Bovini 2025
Melastomataceae	<i>Miconia</i> Ruiz & Pav.	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud.	Folha-Branca, Pixirica	Alimentício, ornamental	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; Carvalho 2008; 2014; Ribeiro et al. 2023; Goldenberg 2025
	<i>Mouriri</i> Aubl.	<i>Mouriri elliptica</i> Mart.	Coroa-de-frade, Coroa, pusa-coroa-de-frade, pusa-frade,	Alimentício, Forrageiro, Melífero, Ornamental, Tanífero	Pott & pott 1994; Lorenzi 2002; Ribeiro et al. 2023; Völtz & Goldenberg 2025

			jaboticaba-do-campo		
Meliaceae	<i>Cedrela</i> P.Browne	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro-branco (MG, GO, RS), Acaiaca, Acaiacatinga, Acajatinga, Acaju, Acaju-Caa, Capiuva, Cedrinho (PR), Cedro-amarelo (BA, RJ, SP), Cedro-batata (BA, SC), Cedro-branco-batata, Cedro-fofo, Cedro-rosado, Cedro-de-carangola, Cedro-do-rio (BA), Cedro-cetim, Cedro-diamantina, Cedro-rosa (MS, RJ, SC, SP), Cedro-roxo (PA), Cedro-verdadeiro (AL, BA), Cedro-vermelho (BA, ES)	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, Tanífero	Marquesini 1995; Carvalho 2003a; 2003b; Ribeiro et al. 2023; Grings & Brack 2011

	<i>Guarea</i> F.Allam.	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	Andirobarana, Carrapeta, Peloteira, Marinheiro-do-mato, Marinheiro, Jatuauba, Gitó, Piorreia, Carrapeta, American muskwood	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Ornamental, Tanífero, Toxico Para Animais	Ribeiro et al. 2023; Flores 2025
	<i>Trichilia</i> P.Browne	<i>Trichilia catigua</i> A.Juss.	Pombeiro, Veludo, Catiguá, Catigua, Catiguá-guaçu, Cataguá, Angelim-rosa, Cedrinho, Mangaltô-catinga	Fibra, Madeireiro, Melífero, Ornamental, Tintorial	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Flores 2025
		<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	Cachuá	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Tintorial, Toxico Para Animais	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Flores 2025
Monimiaceae	<i>Mollinedia</i> Ruiz & Pav.	<i>Mollinedia widgrenii</i> A.DC.	Capixim, corticeira, pau-de-espeto, pimenteira, orelha-de-boi	Caixotaria, ornamental, marcenaria	Lorenzi 2002; Lirio et al. 2025

Moraceae	<i>Brosimum</i> Sw.	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Mama-cadela, Maminha-cadela, Mamica-de-cadela, Algodãozinho, Conduru	Alimentício, Aromático, Cortiça, Forrageiro, Latex, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tanífero, Tintorial	Leão et al. 2005; Morais et al. 2005; Carvalho 2014; Faria et al. 2015; Silva et al. 2018; Ribeiro & Pederneiras 2025
	<i>Ficus</i> L.	<i>Ficus carautana</i> L.J.Neves & Emygdio	S/I	Ornamental	Pederneiras et al. 2025
	<i>Maclura</i> Nutt.	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Old fustic, Taiúva, Amoreira, Amarelinho, Tajuba, Tatajuba, Taiúva, Moreira, Tartajuba, Mora, Amora-brava, Amora-do-mato	Alimentício, Artesanal, Melífero, Tanífero, Tintorial	Lorenzi 1992; Carvalho 2003; Pederneiras 2025
	<i>Sorocea</i> A.St.-Hil.	<i>Sorocea muriculata</i> Miq.	S/I	Ornamental	Pederneiras et al. 2025

Myrtaceae	<i>Blepharocalyx</i> O.Berg	<i>Blepharocalyx</i> <i>salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	Cambuí, Maria-preta, Murtinha, Guaramirim, Guruçuca, Guamirim, Murta, Pitanga-da- várzea, Vassourinha, Guabiju, Guamirim, Multa, Multinha-do- campo, Murta, Pitangueira-do- banhado E Murteira, : Guamirim E Murteira, Guabiroba, Guarunçuca E Vassourinha	Alimentício, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, Tanífero	Carvalho 2006; Rodrigues 2007; Vasconcelos & Proença 2025
	<i>Eugenia</i> L.	<i>Eugenia aurata</i> O.Berg	S/I	Álimentício, cortiça, forrageiro, madereria, medicinal, melífero, ornamental	Carvalho 2006; 2008; 2010; 2012; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
		<i>Eugenia florida</i> DC.	Jamelão-do-campo, Guara-mirim, Cafezinho-da-mata, Gumirim, Copal	Alimentício, Madeireiro, Melífero	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

		<i>Eugenia Paensis</i> Faria & Sobral	S/I	Álimentício, cortiça, forrageiro, madereria, medicinal, melífero, ornamental	Carvalho 2006; 2008; 2010; 2012; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
		<i>Eugenia punicifolia</i> (Kunth) DC.	S/I	Álimentício, cortiça, forrageiro, madereria, medicinal, melífero, ornamental	Carvalho 2006; 2008; 2010; 2012; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
		<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	Uvaia, Eucaliptinho, Orvalha, Pitanga, Uvaieira, Azedinha, Jaboticaba-do-campo, Uvaia-do-mato, Cerejeira, Eucalipto- do-campo	Alimentício	Lorenzi 1992; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
		<i>Eugenia sparsa</i> S.Moore	S/I	Álimentício, cortiça, forrageiro, madereria, medicinal, melífero, ornamental	Carvalho 2006; 2008; 2010; 2012; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
	<i>Myrcia</i> DC.	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Folha-miúda-branca, Guamirim-chorão, Lanceira, Guamirim- de-folha-fina, Guamirim-de-folha-	Alimentício, Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Melífero, Ornamental, Tanífero	Lorenzi 1998; 2002; Carvalho 2008; Ribeiro et al. 2023; Santos et al. 2025

			miúda, Araçazinho		
		<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	Goiaba-brava, Goiabeira	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; Santos et al. 2025
Ochnaceae	<i>Ouratea</i> Aubl.	<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	Barba-de-bode, Curte-seco, Vassoura-de-bruxa	Medicinal, Ornamental	Pott & Pott 1998; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
Olacaceae	<i>Dulacia</i> Vell.	<i>Dulacia egleri</i> (Bastos) Sleumer	Pau-de-rato, fruta-de- urubu, pau-de-alho	Ornamental	Pott & Pott 1994; Costa-Lima & Chagas 2025
Opiliaceae	<i>Agonandra</i> Miers ex Benth & Hook. F	<i>Agonandra</i> <i>brasiliensis</i> Benth & Hook. F	Tinge-cuia, Quinze- cuia, Marfim-de- veado, Marfim-verde, Pau-marfim, Pau- marfim-do-campo, Marfim, Pau-marfim- da-mata, Cerveja-de- pobre, Cervejinha, Amoreira, Amora-do- mato, Pau-d'alho-do- Ce	Alimentício, Cortiça, Madeireiro, Medicinal, Melífero	Conceição et al. 2022; Silva 2025

Polygonaceae	<i>Triplaris</i> L.	<i>Triplaris americana</i> L.	Pau-formiga, Pau-de-novato, Novateiro-de-mato-grosso, Formigueiro, Novateiro, Pau-de-formiga	Artesanal, Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Melo 2025
		<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.	Novateiro, Pau-de-novato, Novato, Formigueiro, Louvateiro, Novateiro-preto, Pau-jaú, Pajaú	Artesanal, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Melo 2025

Primulaceae	<i>Myrsine</i> L.	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Copororoca, Pororoca, Em MS E RS: Capororoca, Na BA: Capororoca-comum E Tapioroca, No CE: Cajueiro-bravo, No DF: Cafezinho, Em GO: Jacaré, Em MG: Capororoca, Capioroca E Pororoca, Em SP: Capororoca, Capororoca-do-Cerrado Carne-de-vaca E Manguê.	Ornamental	Carvalho 2014; Freitas 2025
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium</i> Reissek	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	Cafezinho, Saguragi Amarelo, Tarumaí, Cabrito, Azeitona, Pau-brasil, Cabrito, Cabriteiro, Bosta-de-cabrito, Sagaraji-amarelo	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; Lima et al. 2025

	<i>Sarcomphalus</i> P.Browne	<i>Sarcomphalus mistol</i> (Griseb.) Hauenschild [<i>Ziziphus oblongifolia</i> S. Moore]	Olho-de-boi	Alimentício, Forrageiro, Medicinal, Melífero	Carvalho 2006; Lima et al. 2025
Rubiaceae	<i>Alibertia</i> A.Rich. Ex DC.	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	Marmelada, Marmelada-olho-de- boi, Marmela-de-bola, Bola, Marmelada-de- bezerro, Puruí, Puruizinho, Marmelada-de-cavalo, Apuuí, Marmelada- de-cachorro, Arapuruí, Goiaba- preta	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Ornamental	Rodrigues & Albuquerque 2007; Castro & Cardoso 2021; JBRJ 2025a
		<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	Lixeira, Lixeirinha, Cambará, Lixa, apuruí, arapuruí	Alimentício, Aromático, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Oleaginoso, Ornamental	Yamamoto et al. 2007; Ronquim 2021; Martins et al. 2025; O'Leary & Moroni 2025
	<i>Calycophyllum</i> CC.	<i>Calycophyllum</i> <i>multiflorum</i> Griseb.	Castelo, pau-mulato, mulateiro, palo- blanco, ibirá-moroti, verdolaga	Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Pott & Pott 1994; Guedes et al. 2016; Guedes 2020; JBRJ 2025c

	<i>Cordia</i> A.Rich. ex DC.	<i>Cordia sessilis</i> (Vell.) Kuntze	Marmelada, Marmelada-preta, Marmelada-de- cachorro, Marmelo- do-campo	Alimentício, Medicinal, Ornamental	Meira Junior et al. 2015; Salomão & Santos 2021; JBRJ 2025
	<i>Genipa</i> L.	<i>Genipa americana</i> L.	Jenipapo, Jenipapeiro	Alimentício, Artesanal, Aromático, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, Resina, Tanífero, Tintorial, Cultural/ritualístico	Lorenzi & Matos 2008; Erban & Duarte 2010; Souza et al. 2013; Cordeiro & Félix 2014; Cardoso et al. 2020; Ribeiro et al. 2023; Gomes 2025
	<i>Guettarda</i> L.	<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltdl.	Veludo, Veludo- branco, Angelica	Alimentício, Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 1998; Barbosa 2025
	<i>Psychotria</i> L.	<i>Psychotria</i> <i>carthagenensis</i> Jacq.	Chacrona, juruvarana, jeruvarana, carne-de- vaca, erva-de-rato- branca, rainha	Forrageiro, madeira, alimentício, medicinal	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; JBRJ 2025
		<i>Psychotria</i> <i>niveobarbata</i> (Müll.Arg.) Britton	Caianinha	Forrageiro, madeira, alimentício, medicinal	Pott & Pott 1994; Lorenzi 2002; JBRJ 2025

	<i>Tocoyena</i> Aubl.	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum.	Jenipapo-de-cavalo, Olho-de-boi, Marmelada-preta, Marmelo-preto, genipapo-bravo	Forrageiro	Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Borges 2025
Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> L.	<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lam.	Arruda, espinheiro-preto, mamiqueira-fedorenta, pau-de-barrão, Prickly Yellow, tabatinga, tamanqueira, cera-cozida, limãozinho-preto, maminha-preta, laranjeira-brava, mamiqueira	Aromático, Cortiça, Madeireiro, Melífero, Ornamental, Repelente	Ribeiro et al. 2013; Pirani & Groppo 2025
		<i>Zanthoxylum rigidum</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Maminha-de-porca, Mamica-de-porca, Maminha	Aromático, Forrageiro, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Ribeiro et al. 2013; Pirani & Groppo 2025

Salicaceae	<i>Casearia</i> Jacq.	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Caferane, Caiubim, Caiumbim, Saritan, Marinheiro, Marinheiro-bravo, São-gonçalo, São-gonçalinho, Cabatão, Café-bravo, Guaçatonga, Língua-de-tiú, Pau-de-lagarto, Erva-de-tiú, Tiú, Chá-de-frade, Café-do-mato, Cafezeiro-do-mato, Erva-de-lagarto, Erva-de-tiú, Espeto, Guaçatonga, Caiubim, Carniceiro, Espeto, Baga-de-pomba, Café-de-bugre, Cafezeiro-brabo, Cafezeiro-do-mato, Erva-de-macuco, Vaçatunga, Arco-de-pipa, Ramo-de-carne, Carvalhinho, Chá-de-bugre, Erva-de-bugre, Erva-de-pontada,	Alimentício, Artesanal, Cosmético, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina, Tanífero	Carvalho 2006, 2007; Marquete & Medeiros 2025
------------	-----------------------	-----------------------------------	---	--	---

			Varre-forno, Breu-de-tucano, Cafeeiro, Café-bravo, Café-do-diabo, Canela-de-veado, Erva-de-macuco, Fruta-de-pomba, Lagarteira, Lagarteiro, Matagado, Camarão		
--	--	--	---	--	--

Sapindaceae	<i>Cupania</i> L.	<i>Cupania castaneaefolia</i> Mart.	S/I	Madereria, melífero, ornamental	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Carvalho 2006; JBRJ 2025
	<i>Dilodendron</i> Radlk.	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	Maria-pobre, Farinha-seca, Mamona-pobre, Maria-mole, Puta-pobre, Pau-pobre	Artesanal, Oleaginoso, Ornamental	Ribeiro et al. 2023; Ferrucci & Somner 2025
	<i>Diplokeleba</i> N.E.Br.	<i>Diplokeleba floribunda</i> N.E.Br.	Canela-de-cotia, Farinha Seca	Madeireiro, Melífero, Ornamental, Tanífero	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Somner & Ferrucci 2025
	<i>Magonia</i> A.St.-Hil.	<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	Tingui, Tingui-capeta, Tingui-de-lavar, Timbó, Tanguí, Timbopeba, Timbó-de-árvore, Tingui-de-árvore, Timbó-do-Cerrado Tingui-de-bola, Lombrigueiro	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Oleaginoso, Ornamental, Resina, Repelente, Toxico Para Animais	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Carvalho 2010; Ribeiro et al. 2023; Ferrucci & Somner 2025

	<i>Matayba</i> Aubl.	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	brazeiro, camboatã, canela-de-negro, camboatá-branco, olho-de-cotia, mataiba, batabaiba, jatúá-uba, jatúá-iba, atou-aou, pau-da-digestão, pau-de-espeto, camboatá, cuvantã, tou-aou	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Melífero, Ornamental	Lorenzi 2002; Carvalho 2006; Ribeiro et al. 2023; Coelho 2025
	<i>Melicoccus</i> P.Browne	<i>Melicoccus oliviformis</i> Kunth	Huaya india	Ornamental	Acevedo-Rodríguez & Medeiros 2025
	<i>Sapindus</i> L.	<i>Sapindus saponaria</i> L.	Saboneteira, Saboeiro, Sabão-de-soldado, Pau-de-sabão, Sabão-de-macaco, Saboneteiro, Fruta-de-sabão, Sabonete, Jequitiguaçu, Saltamartin, Guiti, Jequiri, Fruta-de-sabão, Cassita, Cássita, Cassiteira, Wingleaf Soapberry	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Ornamental	Pott & Pott 1994; Carvalho 2014; Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025

	<i>Talisia</i> Aubl.	<i>Talisia oedipoda</i> Radlk.	Olho-de-boi, pitomba, pitombeira	Alimentícios, forrageiro, madereira	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
Sapotaceae	<i>Pouteria</i> Aubl.	<i>Pouteria glomerata</i> (Miq.) Radlk.	Abiorana, abiorana- do-igapó, abiurana, Laranjinha-de-pacu, Laranjinha	Alimentício, Latex	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Alves-Araújo & Nichio- Amaral 2025
		<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Curriola, Leiteiro- preto, Abiu, Abiu- carriola, Massaranduba, Massaranduba- vermelha, Ibacoixa, Guajara, Mandapuça, Grão-de-galo, Pitomba-de-leite, Fruta-de-veado, Fruteira	Alimentício, Forrageiro, Madeireiro, Ornamental	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Alves-Araújo & Nichio-Amaral 2025

		<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	Curriola, Grão-de-galo, Guapeva, Abiurana, Cabo-de-machado, Mocotó-de-ema, Abiu-piloso, Abiu-do-Cerrado Curriola, Acá, Guapeba, Pessegodo-mato, Abiurana	Alimentício, Forrageiro, Latex, Madeireiro, Melífero, Ornamental	Lorenzi 1992; Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Alves-Araújo & Nichio-Amaral 2025
--	--	---	---	--	--

	<i>Sideroxylon</i> L.	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D.Penn.	Laranjinha, Laranjeira-brava, Laranjinha-preta, Leiteiro- preto(Poconé), Guajuvirai (Porto Murtinho), Quixabeira, Em AL E PE: Quixaba, Quixabeira, Na BA: Brinco-de- suim, Quixaba, Quixaba-preta E Rompe-gibão, No MS: Laranjinha, Laranjinha-preta, Leiteiro-preto, Guajuvirai E Quixabeira, No RS: Coronilha, Sombra- de-touro	Alimentício, Forrageiro, Latex, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Pott & Pott 1994; Lorenzi 1998; Carvalho 2014; Alves-Araújo et al. 2025
Simaroubacea e	<i>Simarouba</i> Aubl.	<i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.	Perdiz, mata-cachoro, mata-vaqueiro, azeitona-brava, paraíba, caraíba	Fibra, Madeireiro, Medicinal, Ornamental	Lorenzi 1998; Ribeiro et al. 2023; Devecchi et al. 2025

Solanaceae	<i>Solanum</i> L.	<i>Solanum poinsettiifolium</i> Rusby	Lobeira	Alimentício, forrageiro, madereria, medicinal, melífero, ornamental	Ribeiro et al. 2023; JBRJ 2025
Styracaceae	<i>Styrax</i> L.	<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	Laranjinha-do-campo, Benjoeiro, Limoeiro-do-mato, Pindaíba, Pindauvuna, Pindaubuna, Estoraque	Madeireiro, Resina	Lorenzi 1992; Almeida et al. 1998; Ribeiro et al. 2023; Romão et al. 2025
Ulmaceae	<i>Ampelocera</i> Klotzsch	<i>Ampelocera glabra</i> Kuhlman.	Mentira, vareteiro-da-mata-virgem	Ornamental	Abreu et al. 2014; Pederneiras & Machado 2017; Machado 2025

Urticaceae	<i>Cecropia</i> Loefl.	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Imbaúba-cinzenta, Uмбаúba, Toré Torém, Embaúva, Embaúba, Embauveira E Imbaúba, Embaúba-cinzenta, E Umbaubeira, Embaúba-branca, Bonequeiro, Embaúba E Imbaúba, Árvore-da-preguiça, Embaubeira, Embaúva-do-brejo, Preguiceira E Umbaubeira	Alimentício, Artesanal, Cosmético, Forrageiro, Fibra, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Resina, Tanífero, Tintorial	Carvalho 2006; Consolini et al. 2006; Schinella et al. 2008; Aragão et al. 2010; Mello Cruz et al. 2013; Passos 2019;
Violaceae	<i>Rinorea</i> Aubl.	<i>Rinorea ovalifolia</i> (Britton) S.F.Blake	S/I	Ornamental	Hoyos-Gómez & Paula-Souza 2025
Vitaceae	<i>Cissus</i> L.	<i>Cissus erosa</i> Rich.	uvinha-do-mato, cipó-fogo, parreira brava, cipó-de-arraia-liso	Melífero, Ornamental, Medicinal,	Pott & Pott 1994; Zabatiero et al. 2024; Picanço & Limbardi 2025
Vochysiaceae	<i>Callisthene</i> Mart.	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	Carvão-branco, Itapicuru, Capitão-do-campo, Carvão, Carvoeiro	Madeireiro, Ornamental	Custódio 2011; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025a

		<i>Callisthene major</i> Mart.	Itapiúna, Jacaré, Pau-terra-do-mato, cinzeiro, itapucuru, joão-farinha	Ornamental	Afonso 1994; Custódio 2011; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025b
	<i>Qualea</i> Aubl.	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Pau-terra, Pau-terra-grande, Pau-terra-do-campo, Pau-terra-do-Cerrado Arianá, Pau-terra-macho, Pau-terra-folha-larga.	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental, Tintorial	Pott & Pott 1994; Almeida et al. 1998; Carvalho 2003; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025
		<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Pau-terrinha, Pau-terra-roxa, Pau-terra-de-flor-miudinha, Pau-terra-mirim, Pau-terra, Coatá-quicaúva	Artesanal, Forrageiro, Madeireiro, Medicinal, Ornamental, Tanífero	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025

	<i>Salvertia</i> A.St.-Hil.	<i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil.	Chapéu-de-couro, Bananeira Do Campo, Folha Larga, Colher-de-vaqueiro, Bananeira-do-campo (MG), Folha-larga (GO E PI), Gonçalves (PA), Moliana, Pau-de-arara (PA), Pau-de-colher-de-vaqueiro, Bate-caixa	Madereira, carpintaria, caixotaria	Pott & Pott 1994; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025
	<i>Vochysia</i> Aubl.	<i>Vochysia divergens</i> Pohl	Cambará, Camará	Artesanal, Fibras, Madeireiro, Medicinal, Melífero, Ornamental	Pott & Pott 1994; Carvalho 2014; Ribeiro et al. 2023; Shimizu et al. 2025
Ximeniaceae	<i>Ximenia</i> L.	<i>Ximenia americana</i> L.	Limão-bravo, Limãozinho	Alimentício, Medicinal, Oleaginoso, Tanífero, Tóxico Para Animais	Pott & Pott 1994; Costa-Lima & Chagas 2025

Apêndice F - Categorias de risco de extinção adotadas pelas listas vermelhas da IUCN (International Union for Conservation of Nature) e do CNCFlora (Centro Nacional de Conservação da Flora – Brasil). As classificações indicam o nível de ameaça das espécies, variando de “Pouco Preocupante” a “Extinta”, além de incluir categorias como “Dados Insuficientes” e “Não Avaliada”. A IUCN adota padrões internacionais, enquanto o CNCFlora segue os mesmos critérios, podendo incluir subcategorias nacionais como “Regionalmente Extinta (RE)”.

Categorias da Lista Vermelha – IUCN (Internacional)* (International Union for Conservation of Nature)		
Sigla	Categoria (Português)	Risco de Extinção
LC	Pouco Preocupante (<i>Least Concern</i>)	Baixo
NT	Quase Ameaçada (<i>Near Threatened</i>)	Moderado
VU	Vulnerável (<i>Vulnerable</i>)	Alto
EN	Em Perigo (<i>Endangered</i>)	Muito Alto
CR	Criticamente em Perigo (<i>Critically Endangered</i>)	Extremamente Alto
EW	Extinta na Natureza (<i>Extinct in the Wild</i>)	Extinta em vida livre
EX	Extinta (<i>Extinct</i>)	Extinta completamente
DD	Dados Insuficientes (<i>Data Deficient</i>)	Indeterminado
NE	Não Avaliada (<i>Not Evaluated</i>)	Não classificada

Categorias – CNCFlora (Brasil / Centro Nacional de Conservação da Flora)** (Segue os mesmos padrões da IUCN, mas pode incluir subcategorias nacionais)		
Sigla	Categoria (Português)	Risco de Extinção
LC	Pouco Preocupante	Baixo

NT	Quase Ameaçada	Moderado
VU	Vulnerável	Alto
EN	Em Perigo	Muito Alto
CR	Criticamente em Perigo	Extremamente Alto
RE	Regionalmente Extinta	Extinta em escala local
DD	Dados Insuficientes	Indeterminado
NE	Não Avaliada	Não classificada

Nota:*IUCN: <https://www.iucnredlist.org/> ; **CNCFlora: <https://proflora.jbrj.gov.br/app/sign-in>

Apêndice G - Distribuição das áreas (km²) da sub-região de Miranda (MS) por classe de estresse térmico humano em diferentes cenários do UHCI. São apresentadas a quantidade de células, área total por classe, percentual da classe (%_classe), média de área por célula, desvio padrão e coeficiente de variação (CV). Os valores referem-se aos cenários presentes (A–D) e futuro (E), considerando as categorias de estresse térmico conforme Matzarakis & Mayer (1996).

Classe de Temperatura	Quantidade de células	Área em km ²	%_classe	Média em km ²	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (CV)
Miranda		4.383				
Presente						
Cenário A						
estresse térmico extremo	9626.0	19.6	0.4	0.0	0.0	164.0
estresse térmico muito forte	446484.0	4717.1	96.5	0.0	0.8	7795.2
estresse térmico forte	51782.0	152.0	3.1	0.0	0.0	227.2
Total	507892.0	4888.7	100.0			
Cenário B						
estresse térmico extremo	29677.0	61.7	1.3	0.0	0.0	155.1

estresse térmico muito forte	438909.0	4764.3	98.6	0.0	1.1	9753.0
estresse térmico forte	1554.0	3.9	0.1	0.0	0.0	102.3
Total	470140.0	4829.9	100.0			
Cenário C						
estresse térmico extremo	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.4
estresse térmico muito forte	203024.0	2225.6	46.1	0.0	0.9	7804.4
estresse térmico forte	333623.0	2600.7	53.9	0.0	0.6	7646.6
Total	536671.0	4826.3	100.0			
Cenário D						
estresse térmico extremo	0.0	0.0				
estresse térmico muito forte	188.0	0.6	0.0	0.0	0.0	409.3
estresse térmico forte	302204.0	3668.4	75.1	0.0	1.1	8969.9
estresse térmico moderado	168933.0	1218.5	24.9	0.0	0.3	4089.5
Total	471325.0	4887.5	100.0			
Futuro						

Cenário E						
estresse térmico extremo	0.0	0.0				
estresse térmico muito forte	540434.0	4826.0	98.7	0.0	0.8	9028.9
estresse térmico forte	24942.0	62.2	1.3	0.0	0.0	103.9
estresse térmico moderado	1.0	0.0	0.0	0.0		0.0
Total	565377.0	4888.2	100.0			
Cenário F						
estresse térmico extremo	79.0	0.2	0.0	0.0	0.0	116.0
estresse térmico muito forte	353679.0	3649.4	74.7	0.0	1.3	12530.0
estresse térmico forte	252149.0	1230.7	25.2	0.0	0.2	3332.0
estresse térmico moderado	3018.0	7.5	0.2	0.0	0.0	98.0
Total	608925.0	4887.7	100.0			

Apêndice H - Distribuição das áreas (km²) da área focal de restauração dentro das Terras Indígenas em Miranda (MS), por classe de estresse térmico humano e cenário UTCL. São apresentados os valores de área por classe, percentual relativo à própria área foco (%_classe) e em relação ao total da sub-região de Miranda (%_classe_foco_em_relação_a_Miranda), além da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV). Os dados referem-se aos cenários presentes (A–D) e futuros (E–F).

Classe de Temperatura	Quantidade de células	Área em km ²	%_classe	%_classe_foco_em_relação_a_Miranda	Média em km ²	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (CV)
Área Focal para Restauração		766.49					
Presente							
Cenário A							
estresse térmico extremo	2574.0	5.2	0.7	26.7	0.0	0.0	96.0
estresse térmico muito forte	44436.0	728.5	98.5	15.4	0.0	1.6	9648.5
estresse térmico forte	2587.0	6.2	0.8	4.1	0.0	0.0	111.0

Total	49597.0	740.0	100.0	46.2			
Cenário B							
estresse térmico extremo	5609.0	12.4	1.4	20.2	0.0	0.0	226.3
estresse térmico muito forte	46508.0	888.5	98.6	18.6	0.0	2.6	13504.0
estresse térmico forte	11.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	68.8
Total	52128.0	900.9	100.0	39.3			
Cenário C							
estresse térmico extremo	6.0	0.0	0.0	19.0	0.0	0.0	61.2
estresse térmico muito forte	27379.0	554.9	84.5	24.9	0.0	1.3	6377.8
estresse térmico forte	26033.0	101.9	15.5	3.9	0.0	0.0	529.7
Total	53418.0	656.8	100.0	47.9			
Cenário D							

estresse térmico extremo	0.0	0.0					
estresse térmico muito forte	72.0	0.2	0.0	26.7	0.0	0.0	131.0
estresse térmico forte	30769.0	702.2	91.4	19.1	0.0	1.8	8068.2
estresse térmico moderado	14670.0	66.0	8.6	5.4	0.0	0.0	644.7
Total	45511.0	768.3	100.0	51.3			
Cenário E							
estresse térmico extremo	0.0	0.0					
estresse térmico muito forte	48137.0	551.6	98.9	11.4	0.0	0.6	5341.4
estresse térmico forte	2272.0	6.0	1.1	9.6	0.0	0.0	107.4
estresse térmico moderado	0.0	0.0	0.0				
Total	50409.0	557.6	100.0	21.0			

Cenário F							
estresse térmico extremo	38.0	0.1	0.0	53.4	0.0	0.0	124.3
estresse térmico muito forte	39090.0	897.6	93.1	24.6	0.0	3.1	13297. 4
estresse térmico forte	18691.0	65.7	6.8	5.3	0.0	0.0	462.7
estresse térmico moderado	419.0	1.1	0.1	14.1	0.0	0.0	102.6
Total	58238.0	964.4	100.0	44.0			

Apêndice I - Valores de área (km²) por categoria de estresse térmico humano na área foco, utilizados como base para os testes estatísticos. Os dados foram organizados por cenário UTCI (A–F) e representa a distribuição das classes “moderate heat stress”, “strong heat stress”, “very strong heat stress” e “extreme heat stress” na área focal selecionada. Esses valores foram utilizados nas análises comparativas (ANOVA, Kruskal-Wallis e Wilcoxon) entre os grupos de cenários presentes e futuros.

Category	Scenario_ A	Scenario_ B	Scenario_ C	Scenario_ D	Scenario_ E	Scenario_ F
extreme heat stress	5.248	12.44	0.008	0	0	0.095
very strong heat stress	728.519	888.461	554.944	0.161	551.607	897.611
strong heat stress	6.189	0.02	101.874	702.189	5.971	65.681
moderate heat stress	0	0	0	65.989	0	1.053

REFERÊNCIAS DO APÊNDICE

- Abreu, K. M. P. de, Braga, J. M. A., & Nascimento, M. T. (2014). Tree species diversity of coastal lowland semideciduous forest fragments in northern Rio de Janeiro State, Brazil. *Bioscience Journal*, 30(5), 1529-1550. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22018/15000>
- Abreu, N. do C., Trindade, J. R., Santa Brígida, S. S. de, & Gurgel, E. S. C. (2022). *Andira inermis* (Morcegueira). In L. Coradin, J. Camillo, & I. C. G. Vieira (Orgs.), *Plantas para o futuro – Região Norte: Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial* (Cap. 5, pp. 1290–1294). Ministério do Meio Ambiente. (Série Biodiversidade, 53).
- Afonso, A. de P. (1994). *Biologia da polinização de Callisthene major* (Vochysiaceae) em fragmentos florestais de Uberlândia-MG [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Uberlândia]. Repositório Institucional UFU. <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22827/1/BiologiaPolinizacaoCallisthene.pdf>
- Agostini-Costa, T. S., Faria, J. P., Naves, R. V., & Vieira, R. F. (2016). *Anacardium* spp.: caju-do-cerrado. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1073429/1/regio-centro-oeste-26-07-20171-139-150.pdf>
- Almeida, R. F. (2025). *Bronwenia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB101400>
- Alves, P. F., Cornacini, M. R., Alcantara, M. A. M., da Silva, J. R., Corrêa, A. J. M., Cambium, J., Manoel, R. de O., Rossini, B. C., Aguiar, A. V. de, de Moraes, M. L. T., & Mari, C. L. (2020). Florescimento em teste de procedência e progênes de *Astronium fraxinifolium* Schott (Anacardiaceae) em três eventos reprodutivos. In J. F. C. Gonçalves et al. (Orgs.), *Espécies arbóreas brasileiras: Alternativas para áreas degradadas, APPs e Reserva Legal – Gonçalo-alves* (Vol. 4, Cap. 9, pp. 82–91). Embrapa

- Florestas. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139882/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-4-Goncalo-Alves.pdf>
- Amorim, B. S. (2025). *Casimirella* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8023>
- Amorim, B. S. (2025). *Casimirella* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB122291>
- Andrade, L. R. M., Miranda, Z., Aquino, F. D. G., Pereira, C., & Miranda, G. J. (2021). Frutos e sementes de espécies nativas em ambientes ultramáficos de Goiás: calendário para coleta. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 51p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1139954>
- Antar, G. M. (2025). *Bixaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB27545>
- Aquino, F. G., Gonçalves, H. M., Durães, N., Rocha, F. S., Vilela, M. de F., & Fonseca, C. E. L. da. (2023). *Caracterização agronômica de Caryocar brasiliense Camb. (Caryocaraceae) em plantio experimental* (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 405). Embrapa Cerrados. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1159508/1/Bolpd-405.pdf>
- Araujo, M. D. N., & Dantas, B. F. (2018). *Umburana-de-cheiro Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Sm. https://www.sementesflorestais.org/uploads/1/1/9/3/119304955/9_umburana_de_cheiro.pdf
- Araujo, R. R., Santos, E. D., Farias, D. D. S., de Lemos, E. E. P., & Alves, R. E. (2018). *Byrsonima crassifolia* e *B. verbascifolia*: murici. Embrapa. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1104683/1/Murici.pdf>
- Árvores do Bioma Cerrado. (2017, 23 de maio). *Ceiba pubiflora* (A. St.-Hil.) K. Schum. <https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/05/23/ceiba-pubiflora-a-st-hil-k-schum/>

- Árvores do Bioma Cerrado. (2017, 29 de maio). *Cordia sellowiana* Cham. <https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/05/29/cordia-sellowiana-cham/>
- Árvores do Bioma Cerrado. (2017, 6 de junho). *Celtis pubescens* Kunth ex Spreng. <https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/06/06/celtis-pubescens-kunth-spreng/>
- Árvores do Bioma Cerrado. (2017a, 31 de agosto). *Callisthene fasciculata* Mart. <https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/08/31/callisthene-fasciculata-mart/>
- Árvores do Bioma Cerrado. (2017b, 25 de setembro). *Callisthene major* Mart. & Zucc. <https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/09/25/callisthene-major-mart-zucc/>
- Barbosa, R. I., Mourão Jr., M., Casado, G. M. L., & Silva, S. J. R. da. (2005). *Fenologia do Mirixi-caju (Byrsonima coccolobifolia Kunth. – Malpighiaceae) em áreas de savana aberta do estado de Roraima* (Comunicado Técnico 13). Embrapa Roraima. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/691140/1/Cot13.pdf>
- Batista, J. A., Pacheco, M. F. J., & Santos, M. L. dos. (2005). Biologia reprodutiva de três espécies de *Byrsonima* Rich. ex Kunth (Malpighiaceae) em um cerrado sensu stricto no campus da Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Goiás, Brasil. *Revista de Biologia Neotropical*, 2(2), 109-122. <https://revistas.ufg.br/RBN/article/download/6448/25028>
- Borgiani, R., Grombone-Guaratini, M. T., Vargas, B. D. C., Martins, A. E., Camargo, M. G. G., & Morellato, L. P. C. (2022). Composição florística, modos de polinização e dispersão de sementes de uma área de cerrado relevante para conservação. *Biota Neotropica*, 22, e20211318. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2021-1318>
- Bortolotto, I. M., Damasceno-Junior, G. A., & Pott, A. (2018). Lista preliminar das plantas alimentícias nativas de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia*,

Série Botânica, 73, 101-116. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873s101>

Cabral, F. N. (2025). *Calophyllum* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB6827>

Camillo, J., Scherwinski-Pereira, J. E., Vieira, R. F., & Peixoto, J. R. (2009). Conservação in vitro de *Cochlospermum regium* (Schrank) Pilg.-Cochlospermaceae sob regime de crescimento mínimo. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 11(2), 184-189. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722009000200012>

Cardoso, D. B. O. S., Maia, T. A., & Lima, H. C. (2025). *Bowdichia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB29489>

Carpanezzi, A. A. (2001). Espécies para recuperação ambiental. In A. G. Andrade & C. A. L. Domingues (Orgs.), *Plantas arbóreas brasileiras* (pp. 44–62). Embrapa Florestas. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/307861>

Carvalho, P. D. (2004). *Peroba-rosa: Aspidosperma polyneuron*. Embrapa. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/287286/1/circtec96.pdf>

Carvalho, P. D. (2010). *Pereiro: Aspidosperma pyrifolium*. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1140062/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-4-Pereiro.pdf>

Carvalho, P. D. (2014). *Peroba-Guatambu: Aspidosperma subincanum*. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1140577/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-5-Peroba-Guatambu.pdf>

Carvalho, P. E. R. (2003). *Pata-de-vaca*. Embrapa. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/314128/1/CT0074.pdf>

- Carvalho, P. E. R. (2006). Cafezeiro-do-mato (*Casearia sylvestris*). In *Espécies arbóreas brasileiras* (Vol. 2, pp. 115–124). Embrapa Florestas. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1140732/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-2-Cafezeiro-do-Mato.pdf>
- Carvalho, P. E. R. (2007). *Cafezeiro-do-mato: Casearia sylvestris* (Circular Técnica 138). Embrapa Florestas. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/313896/1/Circular138.pdf>
- Carvalho, P. E. R. (2020). Cássia-rósea (*Cassia grandis*). In *Espécies arbóreas brasileiras* (Vol. 1, pp. 369–373). Embrapa Florestas. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139729/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-1-Cassia-Rosea.pdf>
- Carvalho, P. E. R. (2020). Cumaru – *Amburana cearensis*. In *Espécies arbóreas brasileiras* (Vol. 1, pp. 127–136). Embrapa Florestas. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139736/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-1-Cumaru.pdf>
- Carvalho, P. (2006). Murta: *Blepharocalyx salicifolius*. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1140854/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-2-Murta.pdf>
- Carvalho, P. (2006). Peroba-vermelha: *Aspidosperma olivaceum*. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1140881/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-2-Peroba-Vermelha.pdf>
- Carvalho, P. (2006). Sucupira: *Bowdichia virgilioides*. Embrapa. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1140779/sucupira-bowdichia-virgilioides>
- Carvalho, P. (2010). Pau-de-jangada: *Apeiba tibourbou*. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1140047/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-4-Pau-de-Jangada.pdf>

- Carvalho, P. (2014). *Mama-Cadela: Brosimum gaudichaudii*. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1140523/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-5-Mama-Cadela.pdf>
- Carvalho, P., & Carvalho, P. E. R. (2003). *Angico-vermelho: Anadenanthera colubrina* var. *cebil*. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1137299/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-1-Angico-Vermelho.pdf>
- Carvalho-Sobrinho, J. G. (2025). *Ceiba em Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB9036>
- Castello, A. C. D., Pereira, A. S. S., Simões, A. O., & Koch, I. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4521>
- Castello, A. C. D., Pereira, A. S. S., Simões, A. O., & Koch, I. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4521>
- Castello, A. C. D., Pereira, A. S. S., Simões, A. O., & Koch, I. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB612815>
- Castello, A. C. D., Pereira, A. S. S., Simões, A. O., & Koch, I. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15551>
- Castello, A. C. D., Pereira, A. S. S., Simões, A. O., & Koch, I. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB33625>
- Castello, A. C. D., Pereira, A. S. S., Simões, A. O., & Koch, I. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4535>

- Castello, A. C. D., Pereira, A. S. S., Simões, A. O., & Koch, I. (2025). *Aspidosperma* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15554>
- Cavalcante, T. R. M., Naves, R. V., Franceschinelli, E. V., & Silva, R. P. D. (2009). Polinização e formação de frutos em araticum. *Bragantia*, 68, 13-21. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000100002>
- Colli-Silva, M. (2025). *Apeiba* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB9006>
- Colli-Silva, M., & Fernandes-Júnior, A. J. (2025). *Sterculia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB23607>
- Colli-Silva, M., & Pirani, J. R. (2025). *Byttneria* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB32868>
- Cordia em Flora e Funga do Brasil. (2025). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB16528>
- Costa, D. S. D., Santos, L. N. D., Ferreira, N. R., Takeuchi, K. P., & Lopes, A. S. (2023). Mairá-Potato (*Casimirella* sp.): Botanical, Food, Pharmacological, and Phytochemical Aspects. *Molecules*, 28(16), 6069. <https://doi.org/10.3390/molecules28166069>
- Custódio, L. N. (2011). *Ecologia reprodutiva de espécies de Callisthene e Qualea (Vochysiaceae): aborto, poliembrionia e predação de sementes* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia]. Repositório Institucional UFU. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/13363>
- Dantas, B. F., & Kiill, L. H. P. (2023). *Umburana-de-cheiro* (*Amburana cearensis* (Allemão) A.C.Sm.) – Fabaceae. Embrapa Semiárido. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154212/umburana-de-cheiro-amburana-cearensis-allemao-acsm-fabaceae>

- de Amorim, M. E. (2009). *Serviços de ecossistemas em uma paisagem dominada por pastagem: a polinização e produção de frutos de murici, Byrsonima coccolobifolia (Kunth)* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás]. Repositório Institucional UFG. https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/102/o/Mariana_Eloy.pdf
- Dias, C. D. V., da Silva, P. P., Lúcio, A., Kiill, L., & de Siqueira, K. M. M. (2007). Ecologia da polinização de *Amburana cearensis* (Fr. Allem.) A.C. Smith na Reserva Legal do Projeto Salitre, Juazeiro, BA. In *Anais da 30ª Reunião Nordestina de Botânica* (Crato-CE). Sociedade Botânica do Brasil. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/35756/1/O PB1419.pdf>
- Faria, R. A. P. G. de, Coelho, M. de F. B., Albuquerque, M. C. de F. e, & Azevedo, R. A. B. de. (2015). Fenologia de *Brosimum gaudichaudii* Trécul. (Moraceae) no cerrado de Mato Grosso. *Ciência Florestal*, 25(1), 67-75. <http://dx.doi.org/10.1590/10.1590/1980-509820152505067>
- Farias, J., Zucchi, M. I., Silva, F. R., & Valls, J. F. M. (2015). Seed dispersal and predation of *Buchenavia tomentosa* Eichler (Combretaceae) in a Cerrado sensu stricto, midwest Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75(4, Suppl. 1), 88-96. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.06214>
- Feitosa, D. G., Santos, R. C., Ferreira, G. L., & Oliveira, L. E. M. (2011). Crescimento de mudas de gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) sob diferentes fontes e doses de nitrogênio. *Revista Árvore*, 35(3), 401-411. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300004>
- Fernandes, J., Lopes, C., Almeida, A., & Oliveira, D. (2023). *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (FABACEAE): Morfologia, uso na medicina popular e proibição em produtos tradicionais fitoterápicos no Brasil. *Revista da Saúde da* *AJES*, 9(17), 46-55. <http://revista.ajes.edu.br/index.php/sajes/article/view/553/490>
- Francener, A., & Almeida, R. F. (2025). *Byrsonima* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8831>

- Francener, A., & Almeida, R. F. (2025). *Byrsonima* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8835>
- Francener, A., & Almeida, R. F. (2025). *Byrsonima* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8837>
- Francener, A., & Almeida, R. F. (2025). *Byrsonima* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB19434>
- Gasparino, E. C. (2005). *Estudo polínico das espécies do gênero Cordia L. (Boraginaceae) ocorrentes no Estado de São Paulo* [Dissertação de mestrado, Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente]. Repositório Institucional. https://smastr16.blob.core.windows.net/pgibt/2013/09/Eduardo_Custodio_Gasparino_MS.pdf
- Gazzola, M. D. (2021). *Semeando a restauração ecológica: semeadura direta de espécies florestais na transição Pampa–Mata Atlântica* [Trabalho acadêmico, Instituição]. Repositório Institucional. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/23543>
- Gomes, D. J., Sales, D. S., Caetano, B. R. F., da Silva, F. R. A., Pedroza, A. P., & Carvalho, E. K. M. D. A. (2018). Possibilidades de uso de *Caryocar brasiliense* numa perspectiva farmacológica. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, 2(1), 13-20. <https://doi.org/10.35512/ras.v2i1.1998>
- Guedes, M. C. (2020). Ecologia e manejo de pau-mulato (*Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. – Rubiaceae). In *Anais da II Jornada Amapaense de Botânica e II Jornada de Botânica e Ecologia* (pp. 351–353). Embrapa Amapá. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1145550/1/CPAF-AP-2022-Ecologia-e-manejo-de-pau-mulato.pdf>
- Guedes, M. C., Araújo, B. H. P. de, Castilho, N. T. F., Rodrigues, D. M. de S., & Rosário, B. C. do. (2016). *Manejo da regeneração natural do Pau-Mulato* (Comunicado Técnico 147). Embrapa

Amapá. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1070789>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Anacardiaceae em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4381>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Anacardiaceae em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15463>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Anadenanthera em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB18072>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Andira em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22787>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Annona em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB117065>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Apeiba em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB9006>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4521>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB612815>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Aspidosperma em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15551>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Attalea em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15684>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Attalea em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15686>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Bauhinia em Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB27783>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Bauhinia* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB82684>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Blepharocalyx* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB10262>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Brosimum* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB19772>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Byrsonima* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8831>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Byrsonima* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8835>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Byrsonima* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8837>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Byrsonima* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB19434>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Cactaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB1435>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Calea* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB114908>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Calycophyllum* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB32547>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Capparaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB105687>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Capparaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22300>

JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Caryocaraceae* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB6688>

- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Celtis* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB106890>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Chamaecrista* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB27914>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Cnidoscolus* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB35725>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Combretaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB611887>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Cordia* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB116150>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Cordia* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB16511>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Cordia* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB16528>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Cordia* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB20721>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Couepia* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB16765>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Ulmaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB79742>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Vochysiaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15275>
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2025). *Vochysiaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15276>
- Leão, A. R., Cunha, L. C., Parente, L. M., Castro, L. C. M., Chaul, A., Carvalho, H. E., Rodrigues, V. B., & Bastos, M. A. (2005). Avaliação clínica

- toxicológica preliminar do Viticromin em pacientes com vitiligo. *Revista Eletrônica de Farmácia*, 2(1), 15-23. <https://doi.org/10.5216/ref.v2i1.1943>
- Leite, E. J. (2002). State-of-knowledge on *Astronium fraxinifolium* Schott (Anacardiaceae) for genetic conservation in Brazil. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 5(1), 63-77. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00023>
- Lin, S., & Bernardello, G. (1999). Flower structure and reproductive biology in *Aspidosperma quebracho-blanco* (Apocynaceae), a tree pollinated by deceit. *International Journal of Plant Sciences*, 160(5), 869-878. <https://doi.org/10.1086/314187>
- Lorenzi, H. (1992). *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil* (Vol. 1). Instituto Plantarum.
- Lorenzi, H. (2002). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil* (Vol. 2). Plantarum.
- Lorenzi, H. (2009). *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil* (3ª ed., Vol. 2). Instituto Plantarum.
- Macêdo, D., Almeida, B., Sousa, F., Macedo, J., Santos, M., & Macêdo, F. (2016). Etnoconhecimento de espécies nativas utilizadas para uso terapêutico em uma área de cerrado na chapada do Araripe, Crato, CE, Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 18(3), 720-731. <https://doi.org/10.1590/1983-084X/0151>
- Machado, A. F. P. (2025). *Ulmaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB79742>
- Machado, I. C., Nadia, T. C. de L., & Câmara, M. C. (2004, julho). *Polinização por morcegos em Crateva tapia (Capparaceae) em áreas urbanas (Recife-Pernambuco)*. Anais do 55º Congresso Nacional de Botânica e 26º Encontro Regional de Botânicos de MG, BA e ES, Viçosa, MG. <https://dtihost.sfo2.digitaloceanspaces.com/sbotanicab/55CNBot/1833.pdf>

- Magalhães, A. de F., Carvalho, D. de, Silva Júnior, J. M. da, & Guimarães, J. C. C. (2013). Aspectos ecológicos de *Byrsonima intermedia* em microambientes ripários. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 33(76), 463–466. <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.76.463>
- Mattos, P. P. de, Salis, S. M. de, Lehn, C. R., & Soriano, B. M. A. (2009). Crescimento diamétrico de carvão-vermelho (*Diptychandra aurantiaca*) no Pantanal Mato-Grossense (Comunicado Técnico 244). Embrapa Florestas. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18009/1/CT244.pdf>
- Maya-Lastra, C. A., Torres, D. S. C., Cordeiro, I., & Silva, O. L. M. (2025). *Cnidoscolus* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB35725>
- Meira Junior, M. S., Pereira, I. M., Machado, E. L. M., Mota, S. da L. L., & Ottoni, T. J. O. (2015). Espécies potenciais para recuperação de áreas de floresta estacional semidecidual com exploração de minério de ferro na Serra do Espinhaço. *Bioscience Journal*, 31(1), 283–295. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/28184>
- Melo, A. C. de, Salomão, A. N., & Melo, L. A. de. (2023). *Produção de mudas de Cordia glabrata* (Comunicado Técnico). Embrapa Cerrados. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1171978/1/Producao-de-mudas-de-Cordia-glabrata.pdf>
- Mendes, F. N., Rêgo, M. M. C., & Albuquerque, P. M. C. D. (2011). Fenologia e biologia reprodutiva de duas espécies de *Byrsonima* Rich. (Malpighiaceae) em área de Cerrado no Nordeste do Brasil. *Biota Neotropica*, 11(4), 103–115. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000400011>
- Mendes-Silva, I., Lopes, J. C., Silva, L. V., & Bazante, M. L. (2025). *Annona* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB117065>

- Mendonça, R. C., Felfili, J. M., Walter, B. M. T., Silva-Júnior, M. C., Rezende, A. V., Filgueiras, T. S., & Nogueira, P. E. (1998). Flora vascular do cerrado. In S. M. Sano & S. P. Almeida (Eds.), *Cerrado ambiente e flora* (pp. 289-306). EMBRAPA-CPAC.
- Mitchell, J. D., & Mori, S. A. (1987). The cashew and its relatives (*Anacardium*: Anacardiaceae). *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 42(1), 1-76.
- Morais, I. C., Silva, L. D. G., Ferreira, H. D., Paula, J. R., & Tresvenzol, L. M. F. (2005). Levantamento sobre plantas medicinais comercializadas em Goiânia. *Revista Eletrônica de Farmácia*, 2(1), 13-16. <https://revistas.ufg.br/REF/article/download/1961/1929>
- Morandi, M. A. B. (2010). Integração de métodos físicos e biológicos no controle de doenças em viveiros de plantas medicinais: Estudo de caso com *Cordia verbenacea*. In W. Bettiol & M. A. B. Morandi (Orgs.), *Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas* (pp. 338–341). Embrapa. ISBN 978-85-85771-47-8
- Moreira, D. L., & Guarim-Neto, G. (2009). Usos múltiplos de plantas do cerrado: um estudo etnobotânico na comunidade Sítio Pindura, Rosário Oeste, Mato Grosso, Brasil. *Polibotânica*, 27, 159-190. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000100010&lng=es&nrm=iso
- Moreira, L. Q. (2010). *Avaliação química e biológica da espécie Byrsonima intermedia A.Juss.* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Alfenas]. Repositório Institucional UNIFAL-MG. <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/726>
- Morim, M. P. (2025). *Anadenanthera* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB18072>
- Muniz, F. H. (2025). *Curatella* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB7337>

- Negrelle, R. R. B. (2015). *Attalea phalerata* Mart. ex Spreng.: aspectos botânicos, ecológicos, etnobotânicos e agronômicos. *Ciência Florestal*, 25(4), 1061-1066. <https://doi.org/10.5902/1980509820669>
- Noronha, M. R. P. de, & Gottsberger, G. (1980). A polinização de *Aspilia floribunda* (Asteraceae) e *Cochlospermum regium* (Cochlospermaceae) e a relação das abelhas visitantes com outras plantas do cerrado de Botucatu, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica*, 3(6), 7–77.
- Pederneiras, L. C., & Machado, A. F. P. (2017). Flora do estado do Rio de Janeiro: Ulmaceae. *Rodriguésia*, 68(2), 541-543. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768216>
- Picanço, W., & Lombardi, J. A. (2025). Vitaceae em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15257>
- Pott, V. J., & Pott, A. (2000). *Byttneria palustris* Cristóbal: Raiz-de-bugre. In *Plantas aquáticas do Pantanal* (p. 316). Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/691140>
- Prance, G. T., & Pirani, J. R. (2025). Caryocaraceae em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB6688>
- Ramos, G., Cardoso, D. B. O. S., & Pennington, R. T. (2025). *Andira* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22787>
- Rando, J. G., Cota, M. M. T., Conceição, A. S., Barbosa, A. R., & Barros, T. L. A. (2025). *Chamaecrista* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB27914>
- Ribeiro, J. E. L. S., & Pederneiras, L. C. (2025). *Brosimum* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB19772>

- Ribeiro, R. T. M., Marquet, N., & Loiola, M. I. B. (2025). *Combretaceae em Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB611887>
- Rodrigues, A. D. C., & Osuna, J. T. A. (2004). Mudanças morfométricas em sementes na espécie Angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. *cebil* [Griseb.] Altschul) em diferentes condições ambientais. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 14, 35-36. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2004000300014>
- Rodrigues, V. E. G. (2007). *Etnobotânica e florística de plantas medicinais nativas de remanescentes de floresta estacional semidecidual na Região do Alto Rio Grande, MG* [Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras].
Repositório Institucional UFLA.
<https://www.redalyc.org/pdf/744/74414201.pdf>
- Ronquim, C. C. (2021). *Diversidade de espécies florestais nativas na sub-bosque dos gêneros Eucalyptus e Pinus e listagem de espécies nativas e não nativas em textos técnico-científicos*. Embrapa Territorial.
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1141084/1/6011.pdf>
- Salomão, A. N., & Santos, I. R. I. (2021). *Metodologia para o teste de germinação de sementes de Cordiera sessilis* (Vell.) Kuntze – *Rubiaceae* (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 374). Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1133856/1/Boletim-puruna-374-23-08.pdf>
- Santos, A. B., Ribeiro-Oliveira, J. P., & Carvalho, C. M. (2016). Sobre a botânica, a etnofarmacologia e a química de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 18(1, Suppl. 1), 383-389. https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_152
- Santos, A. E. D. D. (2022). *Cienciometria, etnobotânica e modelagem de nicho de Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Sm. [Tese, Universidade Federal do

Rio Grande do Norte]. Repositório Institucional UFRN. <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46918>

Santos, J. A. A. (2025). Babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.): Uma Revisão Sistemática de Usos e Propriedades Terapêuticas. *Mundo Amazônico*, 16(1), e103105. <https://doi.org/10.15446/ma.v16n1.103105>

Santos, J. U. M. D., Bringel Jr., J. B. A., & Bueno, V. R. (2025). *Aspilia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB26813>

Santos, J. U. M. D., Bringel Jr., J. B. A., & Bueno, V. R. (2025). *Aspilia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB78088>

Santos, R. (2004). Ipameri pesquisa o caju-do-campo. *Jornal do Cerrado*. http://www.ueg.br/noticias_2004-09-16_05.htm

Scheidegger, N. M. B., & Rando, J. G. (2025). *Cassia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB82791>

Schindwein, C., Oliveira, R., Pinto, E., Júnior, J. A. D., & Feitosa, C. (2012). Polinização da mangabeira (*Hancornia speciosa*). *III Semana dos Polinizadores: palestras e resumos*, 72.

Shimizu, G. H., Souza, L. F., Gonçalves, D. J. P., & França, F. (2025). *Vochysiaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15275>

Shimizu, G. H., Souza, L. F., Gonçalves, D. J. P., & França, F. (2025). *Vochysiaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15276>

Silva Junior, J. F. da, Mota, D. M. da, Lédo, A. da S., Schmitz, H., Muniz, A. V. C. da S., & Rodrigues, R. F. de A. (2018). *Hancornia speciosa* Gomes – Mangaba.

Embrapa. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1096247/1/f6dce1963e4cMangabaPROCISUR.pdf>

Silva, G. A. dos R. e. (2019). *O gênero Calea L. (Neurolaeneae, Asteraceae) em Minas Gerais, Brasil* [Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa].
Repositório Institucional UFV. <https://locus.ufv.br/bitstreams/002104b5-13d5-4f23-8506-e12385fed741/download>

Silva, G. H. L. D., & Teles, A. M. (2018). *Calea* (Asteraceae, Neurolaeneae) no estado de Goiás, Brasil. *Rodriguésia*, 69(4), 1851-1875. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869422>

Silva, P., Menino, G. O., Reys, P., Soares, M., Silva, F., & Ribeiro, S. (2017). Fenologia de *Byrsonima verbascifolia* Rich ex. A. Juss.: uma espécie medicinal do Cerrado. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 19(1), 147-155. <https://doi.org/10.1590/1983-084X/0127>

Silva-Luz, C. L., Pirani, J. R., Pell, S. K., & Mitchell, J. D. (2025). *Anacardiaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4381>

Silva-Luz, C. L., Pirani, J. R., Pell, S. K., & Mitchell, J. D. (2025). *Anacardiaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15463>

Silva-Luz, C. L., Pirani, J. R., Pell, S. K., & Mitchell, J. D. (2025). *Anacardiaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4384>

Soares Neto, R. L., & Luber, J. (2025). *Capparaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB105687>

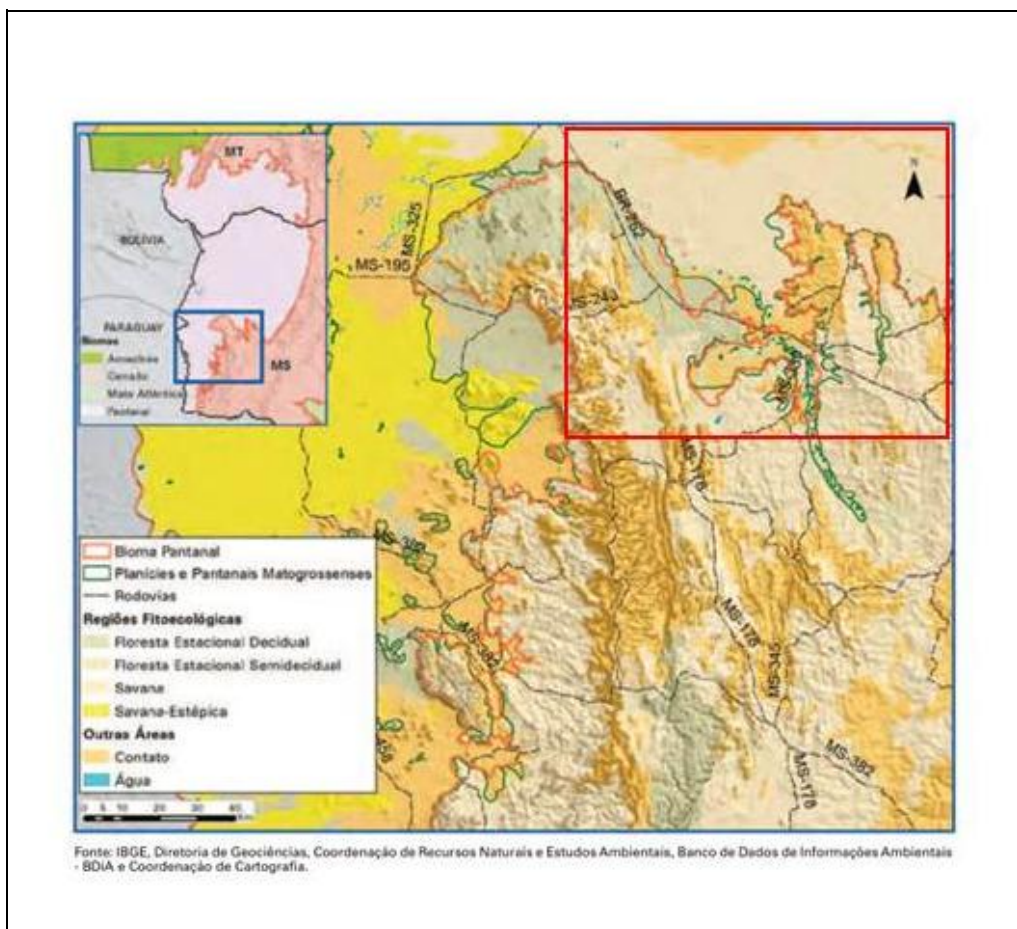
Soares Neto, R. L., & Luber, J. (2025). *Capparaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22300>

- Soares, K. P. (2025). *Attalea* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15684>
- Soares, K. P. (2025). *Attalea* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15686>
- Sothers, C. A., & Prance, G. T. (2025). *Couepia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB16765>
- Souza, A. G. C. de, Reis, A. R. dos, Siqueira, R., & Buckeridge, M. S. (2020). *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. – macaúba (Ficha Técnica de Espécie Nativa para Restauração Ecológica, n. 1). Embrapa. https://www.embrapa.br/documents/1355054/26025431/SITE+ARVORES_FICHA_01_Acrocomia+aculeata.pdf/c1b743c0-f19d-ac7b-702d-b3f121fcd6c6
- Souza, C. C. M., de Moraes, A. L., Assumpção, I. C. L., Lezan, L., & Pasa, M. C. (2025). As ilhas de vegetação urbana em Cuiabá, MT: aspectos botânicos e ecológicos de espécies arbórea-arbustiva. *FLOVET-Boletim do Grupo de Pesquisa da Flora, Vegetação e Etnobotânica, 3*(14), e2025004. <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/flovet/article/view/19056>
- Stefanello, D., Fernandes-Bulhão, C., & Martins, S. V. (2009). Síndromes de dispersão de sementes em três trechos de vegetação ciliar (nascente, meio e foz) ao longo do rio Pindaíba, MT. *Revista Árvore*, 33(6), 1051-1061. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000600008>
- Steinbach, F., & Longo, A. N. (1992). Lista preliminar das espécies da flora apícola nativa da Fazenda Faxinal. In *Anais do II Congresso Nacional sobre Essências Nativas* (pp. 347-349). Instituto Florestal.
- Teodoro, G. R., Ellepola, K., Seneviratne, C. J., Koga-Ito, C. Y., & Del Bel Cury, A. A. (2018). Effects of acetone fraction from *Buchenavia tomentosa* aqueous extract and gallic acid on *Candida albicans* biofilms and virulence factors. *Frontiers in Microbiology*, 9, 647. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00647>

- Vasconcelos, T. N. C., & Proença, C. E. B. (2025). *Blepharocalyx* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB10262>
- Vaz, A. M. S. F., & Santos, A. C. B. (2025). *Bauhinia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB27783>
- Vaz, A. M. S. F., & Santos, A. C. B. (2025). *Bauhinia* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB82684>
- Yamamoto, L. F., Kinoshita, L. S., & Martins, F. R. (2007). Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da Floresta Estacional Semidecídua Montana, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 21, 553-573.
- Zabatiero, F. V., Lopes, L. D., Palandi, A. N., Ferreira, E. D. F., Ferreira, M. D. F., & Souza, M. M. (2024). Vespas sociais (Hymenoptera, Polistinae) são atraídas pela planta *Cissus verticillata* (L.) (Vitacea). *Anais da 16ª Jornada Científica e Tecnológica e 13º Simpósio de Pós-Graduação do IFSULDEMINAS*. <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/2490>
- Zappi, D., & Taylor, N. P. (2025). *Cactaceae* em *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB1435>

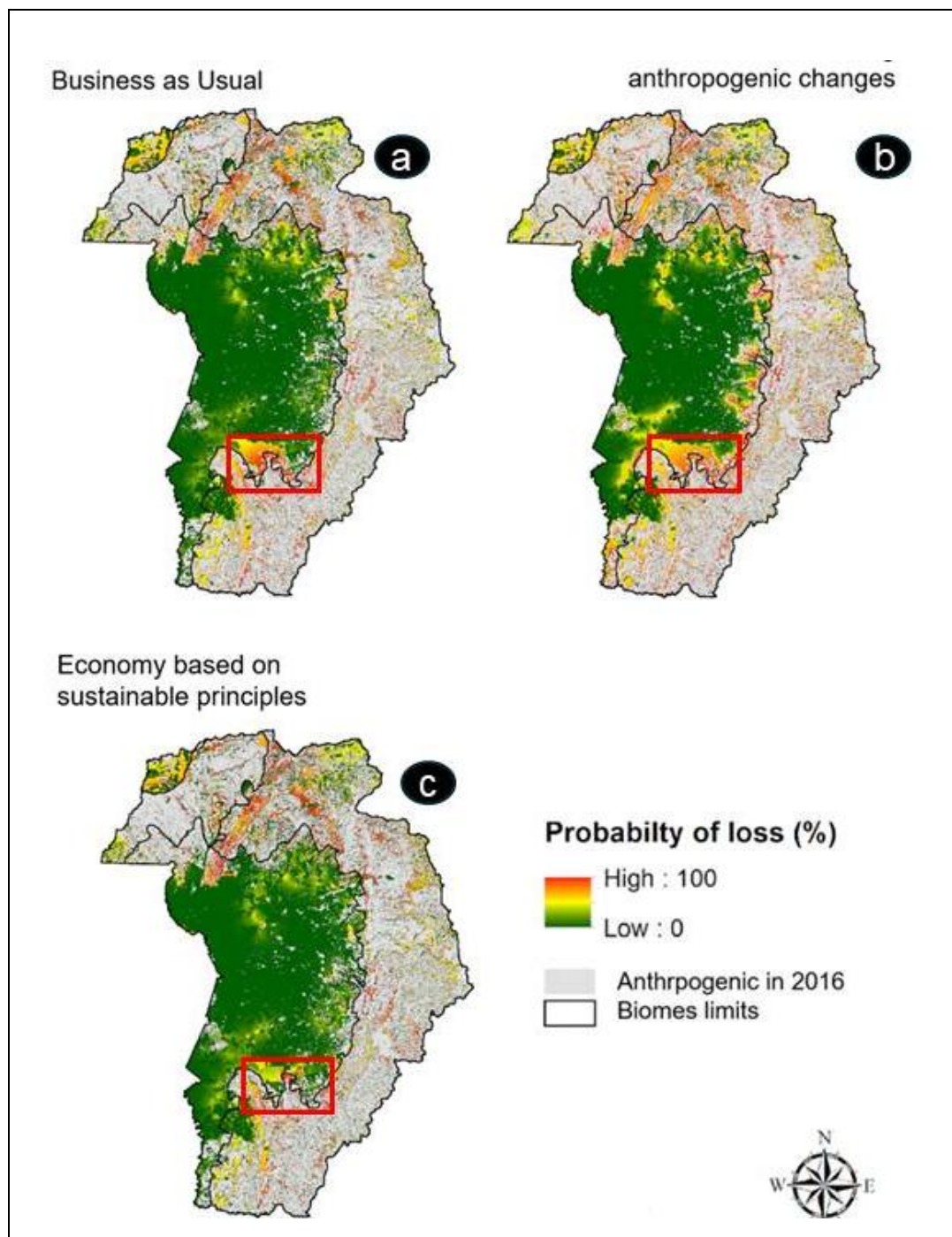
ANEXOS

Anexo A - Figura 44 - Limite sul do Pantanal, a partir do entroncamento das Rodovias MS-325 e MS-243, e limite da Região Geomorfológica Planícies e Pantanaís Mato-Grossenses.



Nota: Localização da transição entre planície e planalto na região sul do Pantanal, Mato Grosso do Sul. As áreas demarcadas com o contorno tracejado verde indicam o limite entre as Planícies e Pantanaís Matogrossenses e os Planaltos adjacentes, representando uma zona de transição topográfica e ecológica. Esta interface é marcada por gradientes de relevo, variações de cobertura vegetal e alterações nos regimes hidrológicos, configurando uma área estratégica para a conservação da biodiversidade e para ações de restauração ecológica. O retângulo vermelho destaca a área de escolha deste estudo, correspondente à sub-região de Miranda, selecionada como foco para as análises de priorização da restauração ecológica. Fonte: IBGE (Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, BDIA) 2006.

Anexo B – FIGURA 3. Probabilidade de perda de vegetação nativa em 2050 na Bacia do Alto Paraguai em três cenários alternativos.



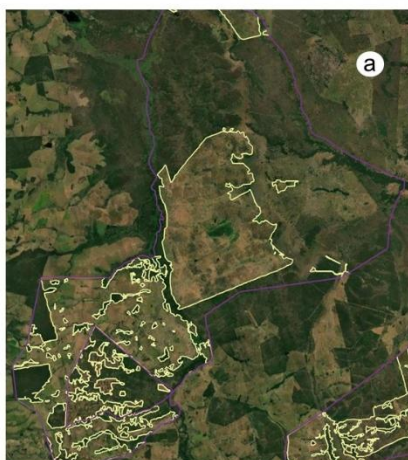
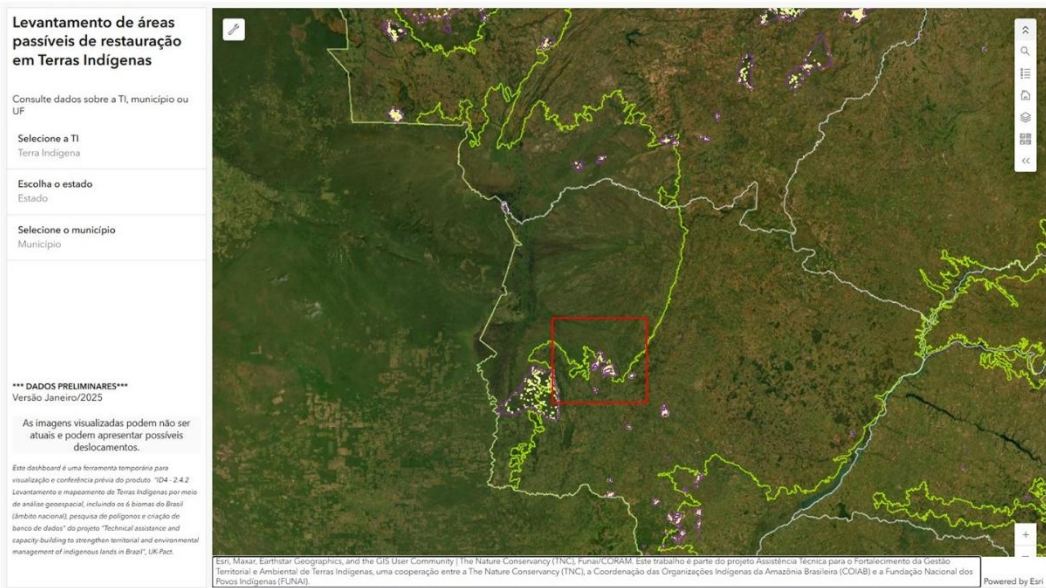
Nota: O retângulo vermelho destaca a área de escolha deste estudo, correspondente à sub-região de Miranda, selecionada como foco para as análises de priorização da restauração ecológica. O cenário (a) '**Business as usual**' representa a manutenção das tendências políticas, econômicas e ambientais observadas entre 2008 e 2016, com foco em curto prazo

e sem avanços significativos em práticas sustentáveis (Guerra et al. 2020). A produção agropecuária continua nos níveis atuais, seguindo as exigências mínimas do Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e o Decreto Estadual de Mato Grosso do Sul nº 14.273/2015 para áreas de Reserva Legal.

O cenário **(b) Aceleração das mudanças antrópicas** pressupõe um agravamento da trajetória anterior, com aumento da pressão sobre os ecossistemas, expansão descontrolada da agropecuária e relaxamento das legislações ambientais. A projeção é de crescimento anual de 2,1% na produção de carne bovina (Brasil 2018), com eliminação da obrigatoriedade de Reservas Legais.

Por fim, o cenário **(c) Economia baseada em princípios sustentáveis** adota como base os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, incorporando tecnologias verdes, bioeconomia e governança colaborativa entre governos, sociedade civil, setor privado e comunidades locais. Neste cenário, há o fortalecimento de políticas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e a manutenção de áreas de vegetação nativa superiores aos limites legais, com até 80% de cobertura nas planícies e 35% nas áreas de planalto, tomando como referência a legislação da Amazônia Legal e do Cerrado (Guerra et al. 2020).

Anexo C – Áreas passíveis de restauração ecológica nas Terras Indígenas Cachoeirinha e Taunay/Ipegue, Pantanal, Brasil. Visualização das áreas mapeadas como passíveis de restauração dentro dos limites das Terras Indígenas Cachoeirinha (a) e Taunay/Ipegue (b), localizadas no bioma Pantanal. As áreas em amarelo-claro representam os polígonos classificados como passíveis de restauração, conforme levantamento realizado pela The Nature Conservancy (TNC) em parceria com a Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI) e a Coordenação das Organizações Indígenas da Amazônia Brasileira (COIAB) em 2025. Os limites das Terras Indígenas estão destacados em roxo, enquanto os limites estaduais aparecem em cinza claro.



Nota: O retângulo vermelho destaca a área de escolha deste estudo, correspondente à sub-região de Miranda, selecionada como foco para as análises de priorização da restauração ecológica. Fonte: The Nature Conservancy (TNC), versão preliminar de janeiro de 2025, elaborada no âmbito do projeto “Technical assistance and capacity-building to strengthen territorial and environmental management of indigenous lands in Brazil”, UK-Pact (<https://tnc.maps.arcgis.com/apps/dashboards/7f23301ee2c34eb99fc31d1897c071ae>).

REFERÊNCIAS DO ANEXO

- Brasil. (2018). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola – Brasília: MAPA/ACE. 112 p.
- Guerra, A., Roque, F. O., Garcia, L. C., Ochoa-Quintero, J. M., Oliveira, P. T. S., Guariento, R. D., & Rosa, I. (2020). Drivers and projections of vegetation loss in 6 the Pantanal and surrounding ecosystems. *Land Use Policy*, 91, 104388. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104388>
- Guerra, A., Roque, F. O., Garcia, L. C., Ochoa-Quintero, J. M., Oliveira, P. T. S., Guariento, R. D., & Rosa, I. (2020). Drivers and projections of vegetation loss in 6 the Pantanal and surrounding ecosystems. *Land Use Policy*, 91, 104388. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104388>
- IBGE. (2006). Limites Pantanal-Cerrado-Amazônia. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/pdf/Lim06_PantCerr.pdf

Anexo D – Artigo "Navigating the interplay of Ecosystem Restoration, Climate Change and Human Health: addressing challenges with a case study in Central Europe" (Arguelho et al., no prelo).

⁵Navigating the interplay of Ecosystem Restoration, Climate Change and Human Health: addressing challenges with a case study in Central Europe

Running title: Ecosystem Restoration-Climate Change-Human Health

JULIANA SOBREIRA ARGUELHO¹, KAMIL LEZIAK², CARLOS HIROO SAITO³, and ANETA AFELT⁴

¹ *University of Brasilia, Graduate Program in Sustainable Development, Center for Sustainable Development, Darcy Ribeiro University Campus, 70904-970, Brasília, DF, Brazil. Email: jujubiologia2013@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2201-8012>*

² *University of Warsaw, Faculty of Geography and Regional Studies, Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa, Poland. Email: k.leziak@uw.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-0858-8163>*

³ *University of Brasilia, Department of Ecology, Darcy Ribeiro University Campus, 70910-900, Brasília, DF, Brazil. Email: carlos.h.saito@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5757-9629>*

⁴ *University of Warsaw, Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling, Tyniecka 15/17, 02-630 Warszawa, Poland. Email: afelt.aneta@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8744-2992>*

Abstract

The chapter explores the nexus ecosystem restoration, climate change, and Human Health, aiming to mitigate thermal stress connecting SDG 15 to the SDG 13 and SDG 3 in line with the One Health principles. The work is based on a case study in Poland (Wieliczka municipality), where, after calculating topoclimate unit and the UTCI in each topoclimate unit, the spatial diversity of thermal comfort for the inhabitants was presented. Results in thermal contrasts reflected the strong variation of heat stress in each weather type and the average UTCI value within the same weather type is approximately 1.2 °C lower in rural areas compared to urban areas. The results showed the role of vegetation on thermal comfort. The study concludes that restoration projects enables the creation of microclimates suitable for human thermal comfort; and suitable modification of the urban landscape can produce improvements in the thermal comfort of the inhabitants.

Keywords: One Health, topoclimate, UTCI, thermal stress, human thermal comfort, mitigation, adaptation

⁵ "Global Nexus Handbook" (Elsevier)

1 INTRODUCTION

The increase in global threats, such as the loss of biodiversity due to rampant deforestation, anthropogenic climate change and increasing poverty, has raised awareness about the mitigating role that natural landscapes can play (Brancalion and Holl, 2020; Di Sacco et al., 2021), thus, this scenario has led to the emergence of some notable global initiatives. The effects and reactions to climate change are intricately connected to sustainable development, as articulated in the 1987 Brundtland Report, which characterises it as “development that satisfies the needs of the present without jeopardising the ability of future generations to meet their own needs” (UNGA, 1987). This sustainable development aims, in the end, to balance social well-being, as ethically, legally and politically sustainable, as well as economic prosperity and environmental protection (Hibbard and Karle, 2002; Gomes and Ferreira, 2018).

In pursuit of these aims, the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs - 2030), endorsed in 2015, offer a well-established framework for evaluating the connections between global warming and development objectives. While explicitly addressed in SDG 13, these links can also be associated with other goals such as poverty eradication, inequality reduction, and climate action, encompassing a total of 17 SDGs, 169 targets, and 232 indicators to be accomplished by 2030. Additionally, the Declaration itself includes the vision, principles, and commitments to be collectively embraced by the subscribing states (UNGA, 2015; Kronemberger, 2019). Among these, Leave no one behind can be addressed as the central promise of the 2030 Agenda for Sustainable Development (AfSD) and its SDGs, representing the top commitment to reduce the inequalities and vulnerabilities, combat poverty, discrimination and exclusion in all their forms. Despite these efforts, the establishment of a set of goals in sustainable development itself is not enough to lead to a successful result. The transition challenge, i.e. moving from the present condition to a more

sustainable one, is dependent on how to solve the strong mutual path-dependencies and lock-ins between the SDGs themselves and the different sustainable transitions initiatives (Markard et al., 2012). Climate change is becoming, day after day, a key driver influencing the result of 2030 AfSD. Zamignan et al. (2022), performing a systemic analysis of the SDGs internal relationship based on what is written in their goals and targets, addressed that SDG 13 has connections to all of the 17 SDGs, mostly with SDG 11, SDG 8, SDG 4, and SDG 2. According to Waage et al. (2015), despite the recognizable potential synergies that improvements in forest conservation might reduce climate change or that tackling climate change might reduce loss of coral reefs, there is a lack of clear pathways and models for these goals interactions that might influence and change governance.

This can be the case of the interplay between restoration and climate change. In 2020, the United Nations General Assembly declared that the period 2021-2030 will be the "Decade of Ecosystem Restoration" (Fischer et al., 2021), whose main objective is to increase efforts to restore degraded ecosystems, creating efficient measures to combat the climate crisis. In turn, SDG number 15 - Life on Earth - aims to "protect, recover and promote the sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, halt and reverse soil degradation and halt the loss" (UNGA, 2015) and, together with the institution of the "United Nations Decade of Ecosystem Restoration", it presents itself as an incentive for governments to restore ecosystems, aiming for environmental, social and food balance (Fischer et al., 2021).

The restoration of degraded areas generates significant environmental, economic and social improvements for the local population and the environment (Hibbard and Karle, 2002; Brancalion et al., 2012). While these initiatives hold significance, it is noteworthy that the United Nations A/RES/73/284, which designates the "Decade of Ecosystem Restoration" explicitly acknowledges the link

to climate change by emphasising the need to integrate ecosystem restoration into policies and plans. Given the degradation of marine and terrestrial ecosystems, biodiversity decline, and susceptibility to climate change, a thorough analysis of the interdependencies and potential mutual benefits or conflicts between ecosystem restoration and climate change is essential (UNGA, 2019). One particular effect of the climate change that affects human health is the increase of temperatures and the occurrence of a heatwave, leading communities to a thermal stress and discomfort and health risk (Harlan and Ruddell, 2011; Campbell et al., 2018). The occurrence of unbuilt green surfaces (green spaces) can improve human wellbeing in urban areas, as well as guarantee several environmental services, being in line with the One Health principles (Felappi et al., 2020). Green spaces can also be one of the parameters of environmental injustice (Silva et al., 2023a,b). Considering this, ecosystem restoration can help mitigate this thermal stress connecting SDG 15 to the SDG 13 and SDG 3.

This is the aim of the present chapter, to present initial considerations about the nexus ecosystem restoration, climate change, and Human Health, and answer the challenge of identifying priority location to promote ecosystem restoration for human wellbeing under climate change context, based on a case study in Poland (Wieliczka municipality).

Wieliczka municipality is located in Central Europe, southern Poland, east-south from Cracow (Fig. 1). Geomorphologically it is characterised by a rich relief typical for Carpatia uplands, with elevation between 224 and 361 meters above the mean sea level. Its total population reaches 76,500, of which 40 % is located within the borders of the city of Wieliczka, a part of the Cracow agglomeration area. Remaining 60 % of the population inhabits surrounding villages, located mostly in the valleys (www.wieliczka.eu). Population density is 1740 per/sq.km, while the city itself covers 13 % of the municipality area. In 2023, Wieliczka municipality prepared a Strategic adaptation plan to climate change

(www.wieliczka.esesja.pl).

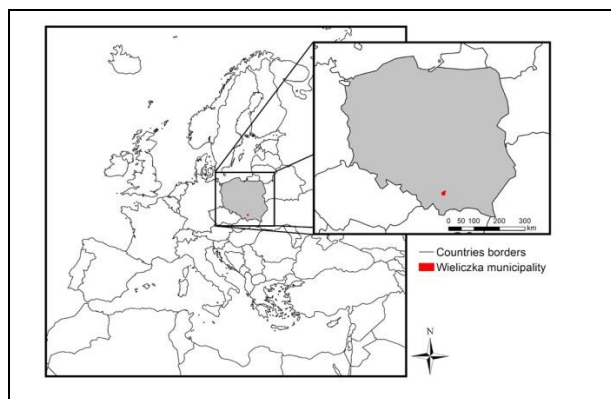


Fig. 1. Wieliczka municipality location.

2 THE MUTUAL INFLUENCE BETWEEN ECOSYSTEM RESTORATION AND CLIMATE CHANGE

Climate change is a long-term variation in the mean state and variability of climate, often caused by natural processes, human activities, or external factors, and impacting temperature, precipitation patterns, and weather extremes (Kumar et al., 2019; Zorko et al., 2022). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023) indicates that climate change refers to a change in the state of the climate that can be identified, for example, through statistical tests that demonstrate changes in the mean and/or variability of its properties, and which last for a prolonged period, generally decades or more (Rimpika et al., 2021). Carbon dioxide (CO₂) levels increased by 47.3 % and reached annual averages of 410 parts per million and Methane (CH₄) reached 1866 parts per billion, up to 157.8 %. The planet's surface temperature has already increased by 1.1 °C above the average from the years 1850–1900 in 2011–2020. The IPCC warns that exceeding the 1.5 °C global warming limit will result in significant impacts to humanity and biodiversity, such as droughts, floods, heat waves and rising sea levels (Díaz et al., 2019; Malhi et al., 2020, IPCC, 2023). In addition to the risks to biodiversity being discussed within the scope of climate change, a different

approach is taken to this challenge by international working groups.

Ecosystems are undergoing swift transformations in response to climate change and other global change factors. These alterations extend beyond temperature variations and encompass related adjustments in precipitation, atmospheric carbon dioxide concentration, water balance, ocean chemistry, and the frequency and intensity of extreme events (Malhi et al., 2020). The Convention on Biological Diversity (CBD), which became effective at the close of 1993, is geared toward safeguarding biological diversity and ensuring the sustainable use of its components in an equitable and fair manner. The most recent Conference of the Parties to the Convention (COP15), held in Canada at the end of 2022, concluded with a groundbreaking agreement to halt and reverse nature loss by 2030. Safeguarding biodiversity aligns with human development facets, the Sustainable Development Goals (UNGA, 2015), the United Nations Decade for Ecosystem Restoration (UNGA, 2019), and the missions presented in the COP15, seeking to slow down biodiversity loss through protection and restoration (CBD, 2021; Lerambert, 2022; Baldwin-Cantello et al., 2023).

Human influence on these biotic systems has reached extraordinary proportions. Such changes are so significant that current maps of the Earth are no longer being drawn based on the boundaries of natural systems, but rather on the boundaries of ecosystems now predominantly altered by mankind (Alessa and Chapin, 2008; Ellis et al., 2024). Furthermore, changes in land cover can cause abrupt transitions in surface climate if there are changes in albedo and rates of evapotranspiration (Turner et al., 2020; Sieber et al., 2022; Pilotto et al., 2023). Surface albedo and moisture availability influence water and energy flows, affecting conditions both locally and remotely.

The conversion of forests to pasture or non-irrigated crops in the tropics also induces

warming since, despite the forests' lower albedo, transpiration rates are high (Bounoua et al., 2002; Tölle, 2022; Lane et al., 2023). Furthermore, urbanisation can trigger surprising interactions that amplify climate warming beyond the known urban heat island effect (Garuma, 2022; Li et al., 2022; Feinberg, 2023). Interactions between climate and land cover can result in abrupt changes in ecosystem productivity (Baguskas et al., 2018; Turner et al., 2020), carbon fluxes (Carbone et al., 2013), disturbance regimes, including wildfires (Williams et al., 2019; Rogers et al., 2020), and species distributions (Araújo et al., 2005; Nunez et al., 2019).

Studies indicate that the probability of cascading extinctions is lower in systems that have a greater diversity of functional groups (Alvarez et al., 2019; Rogers et al., 2021). This diversity of different functional groups means considering equally important the abundant and dominant species, the less abundant ones, and the competitive and the rare ones, supporting the conception of biodiversity as 'ecosystem insurance' (Yachi and Loreau, 1999; Dee et al., 2019; Trew and Maclean, 2021; Loreau et al., 2021). When both functional diversity and the diversity of responses within these functional groups are high, the resilience of an ecosystem in the face of environmental changes can be significantly increased (Elmqvist et al., 2003; Oliver et al., 2015; Biggs et al., 2020).

The scale and speed of climate change caused by human activity is increasing the likelihood of abrupt changes in terrestrial, aquatic and marine ecosystems on a global scale (Ratajczak et al., 2018). Mooney et al. (2009) report that we are not only witnessing the loss of species and populations, but also the deterioration of entire fragments of communities and ecosystems, resulting in the reduction of their ability to provide ecosystem services. The contribution of climate change to future extinctions is intrinsically linked to the speed with which species and the ecosystem are able to adapt to these transformations, thus, ongoing climate change constitutes an additional source of stress for species already threatened by

environmental changes, both local and global, intensifying the risk of extinction (McCarty, 2001; Leclerc et al., 2020; Åkesson et al., 2021).

Although ecological changes have been observed in parallel with global climate change over the past few millennia (Shuman, 2012; Williams and Burke, 2019), the importance of understanding how ecosystems will respond to current anthropogenic climate change is becoming increasingly evident as warming intensifies (Malhi et al., 2020; Turner et al., 2020). Furthermore, other factors, such as land cover and use, nutrient flows and transport, and harvesting of living resources, are undergoing constant changes by humans (Steffen et al., 2015). These additional changes can make ecosystems more vulnerable and interact with climate in new ways (Zscheischler et al., 2018; Wang et al., 2020).

The potential to protect, restore and use ecosystems as tools to address climate change has gained increasing prominence in the broader context of 'Nature-Based Solutions', focused on climate change mitigation (Griscom et al., 2017; Seddon et al., 2020). Malhi et al. (2020) argues that judicious management and restoration of ecosystems can play significant roles in mitigating and adapting to climate change.

3 LOOKING FOR SOLUTIONS – HOW TO ADAPT TO CHANGING CLIMATE FROM ECOSYSTEM SERVICES' PERSPECTIVE

Achieving sustainable development at different levels (mainly local and regional), while preserving the structural stability and functionality of natural ecosystems, remains a global challenge of great magnitude (Peng et al., 2018; Wang et al., 2020; Chen et al., 2023). Ecosystem restoration can be seen as one of the key-solutions to improve quality of life in the anthropized environment (Gann et al., 2019). Research has explored different restoration scenarios (climatic, economic, among others) and provided valuable guidance for ecosystem

restoration (Hibbard and Karle, 2002; Strassburg et al., 2020; Liu et al., 2022). It is crucial to implement ecosystem restoration measures by identifying priority areas using various tools, such as GIS and other software, to improve biodiversity and ecosystem services in order to mitigate the impact of climate change and human disturbances (Lee et al., 2002; Strassburg et al., 2020; Zhang et al., 2023).

Considering the objective of connecting ecosystem restoration to climate change and human health, by mitigating the thermal stress, it is necessary to understand the entwined concept of thermal stress and thermal comfort to advance in methodological means. The lack of thermal comfort means thermal stress. In this study, real data analysis, based on a case study from Central Europe (Wieliczka municipality, Poland), will determine the threshold for the urbanised tissue density favorable for significantly reducing thermal stress.

3.1. Thermal comfort, topoclimate and the Universal Thermal Climate Index

Thermal comfort could be defined in several biophysical manners (Binarti et al., 2020). The most common and complex, from a physiological point of view, is the UTCI (Universal Thermal Climate Index) (Błażejczyk, 2010; Bröde et al., 2012), which is calculated according to the local meteorological parameters in each topoclimate unit. A topoclimatic unit can be understood as an internally coherent, homogenous area characterised by specific climatic conditions (topoclimate), which differ from the conditions prevailing in neighbouring units (Błażejczyk 2001).

Topoclimatic conditions were determined according to the methodology proposed for an overview topoclimatic map of Poland (Błażejczyk, 2001) and modified by Afelt et al. (2022). Information was obtained about the characteristics of the natural environment that may influence the structure of the heat and radiation balance of the active surface (the surface reachable by the sunlight). Three main

properties were taken into account: (1) the terrain, its slope and aspect; (2) land coverage and forms of use; and (3) soil permeability, as presented and used by Afelt et al. (2022).

Thus, after calculating topoclimate unit and the UTCI in each topoclimate unit, the resultant map corresponds to the spatial diversity of thermal comfort for the inhabitants there (Błażejczyk 2010).

UTCI values are expressed in °C and determine objectively (that is, independently of individuals' subjective perception) the thermal stress that the human body is subject to in certain hot or cold conditions. In order to calculate the UTCI value, the following formula proposed by Błażejczyk (2010) and also used by Afelt et al. (2022) was utilised:

$$UTCI = 3.21 + 0.872 \cdot t + 0.2459 \cdot Mrt - 2.5078 \cdot v_{10} - 0.0176 \cdot f,$$

where:

UTCI - Universal Thermal Climate Index [°C],

t - air temperature [°C],

Mrt - mean radiant temperature [°C],

v₁₀ - wind velocity at 10 meters above the ground level [ms⁻¹],

f - relative humidity [%].

The advantage of UTCI is the broad scale of the analysis with reference to current topoclimatic conditions. Index value can be calculated in a raster matrix, individually for each pixel, resulting in a high-resolution (30-100 meters) grid presenting spatial diversity of thermal comfort. Simulations are made in relation to the thermal conditions in the atmosphere, independently for four predefined "weather types", that can occur during the hot season (with air temperature of 20 °C, 25 °C, 30 °C and 35 °C, respectively). UTCI is strongly related to topoclimatic units, which makes the predictions of thermal comfort well linked with strictly local conditions given by the quality and quantity of the analysed space and its properties. A topoclimatic unit can be defined as an internally coherent and homogeneous area characterised by specific climatic conditions (topoclimate), which differ from the predominant conditions in neighbouring units (Afelt et al., 2022).

3.2. Wieliczka municipality general climate conditions

The municipality belongs to a temperate climate zone, in a warm transitional climate type. The territory is characterised by a varied relief, so there is a relatively high topoclimate diversity: northern part is located in the wide Vistula valley and belongs to the sub-mountainous climate subzone of lowlands and basins, overlaid by features of the other local climate found within the municipality - that of the Wieliczka Foothills. The average annual air temperature is in the range of 7.4-8.2 °C, the minimum average temperature ranges from 3.5 to over 5.0 °C. The greatest difference between annual maximum and minimum temperatures occurs in the Vistula Valley. Annual precipitation sum is in the range of 650-800 mm, length of vegetation period: 200-215 days.

The variation of topoclimatic conditions are defined in a grid, at the resolution of 100 x 100 m per pixel (Fig.2). The general picture of the variation of topoclimate units corresponds well with land properties, its use and solar radiation it reflects. Topoclimate unit no. 13 represents the urbanised area, while green-covered areas (farmland, forests) are represented by units no. 11 and 32, respectively (CORINE Land Cover product, 2018 version, 6.7 % of the area is covered by forest, agricultural land takes up 83 % - including 27 % of meadows, the share of the urbanised area is 10 %).

Future climatic conditions are assessed in the perspective of two time horizons - the decades 2051-2060 and 2091-2100. Summary utilised data from a forecast of unfavorable climate change (Representative Concentration Pathway scenario 8.5, assuming the net radiative forcing of 8.5 Wm⁻²), derived from the latest climate change prediction results developed on a local scale for the entire Poland in the KLIMADA2.0 project, by the Institute of Environmental Protection-National Research Institute (<https://klimada2.ios.gov.pl/>).

The results indicate the following climate patterns for the horizon to 2050 and the end of

the 21st century:

- a slow increase of 2-5 °C the air temperature, more rapid in highly urbanised zones
- the major climate change in the region will be an increase in the number of days with temperatures above 25 °C, simulations suggest up to even 90 % (RCP 8.5) of the number of days per year (!), comparing to 46 days yearly in average for last 20 years period
- an increasing trend in the amount of precipitation, with a reduction in the duration of precipitation, a higher intensity of precipitation;

the number of days with precipitation will decrease slightly, but the number of days with very low precipitation will increase (the so-called ineffective precipitation, which does not contribute to the renewal of the hydrosphere's water resources)

- the wind speed is indicated as decreasing on average (due to predominantly convective air movement), however, short-term local gusty winds are forecast

- no significant changes in solar radiation are forecast, as cloud cover will remain similar to the current level.

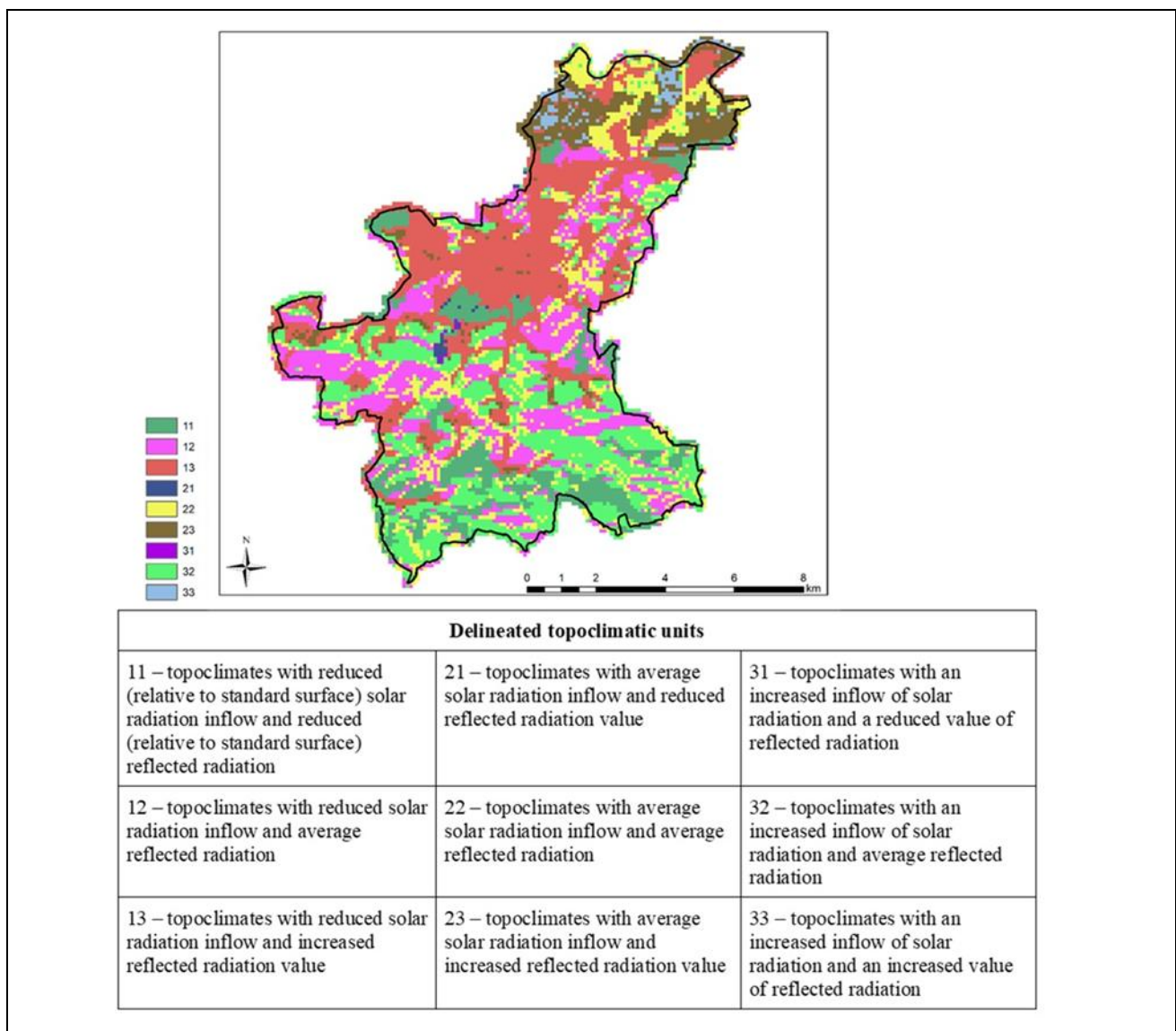


Fig. 2. Wieliczka municipality topoclimate units, after adaptation to climate change strategic plan, 2023, and units coding after Afelt et al., 2022.

3.3. Methods and data for the impact of climate change on human thermal comfort

To calculate the value of UTCI, meteorological data (air temperature: max, min and average, relative humidity, wind velocity) were obtained from the Institute of Meteorology and Water Management-Polish Research Institute. UTCI has been calculated for four types of weather

conditions that can occur during the warm season, as described at 3.1.. Results of the spatial distribution of heat stress for each thermal condition and its bio-physiological consequences (6 levels of human thermal stress) are presented in Figure 3.

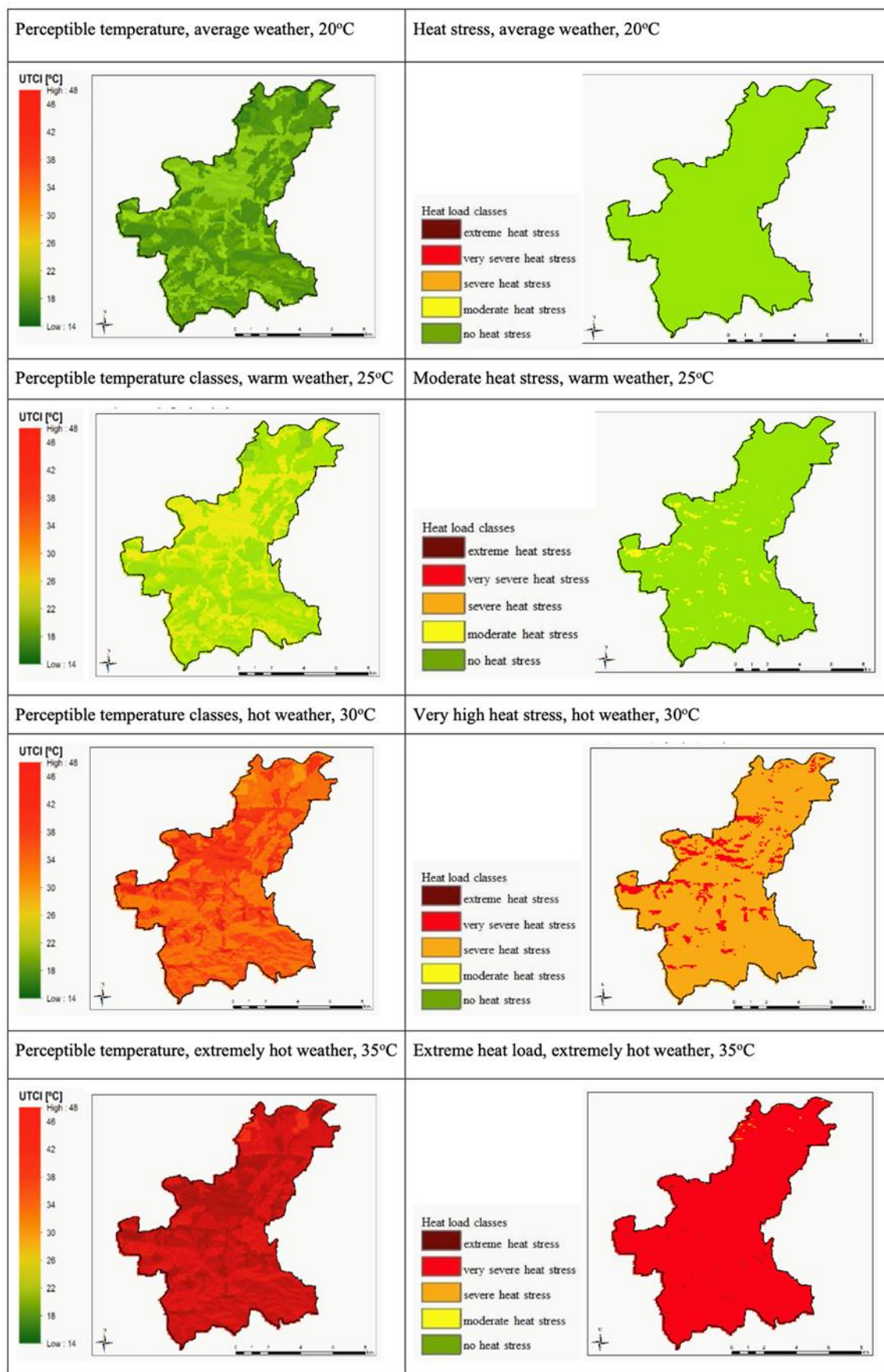


Fig. 3. Spatial distribution of thermal stress (as the UTCI index) in 4 weather types in Wieliczka

municipality.

In order to test the significance of the effect caused by the presence of natural and quasi-natural zones on thermal comfort, we carried out a statistical analysis of the results obtained for the UTCI. UTCI values were calculated and then compared with each other, in three distinctive land area types (Fig.4):

- A. Urban - urban development areas, highly urbanised
- B. Rural - rural built-up areas, moderately urbanised
- C. Vegetation - areas covered with vegetation (cultivated fields or natural areas), non-urbanised.

A set of representative test polygons has been delineated for each land area type (Fig. 4, Tab. 1). The delineation of the test polygons has been done on the high resolution orthophotos, in such a manner as to guarantee the most similar total study area in each zone. The test polygons have then been rasterized and the raster files have been resampled to a 100 x 100 m pixel grid, matching the resolution of the raster files storing the UTCI values for different weather types. For each land area type surface permeability has been estimated in four classes (Tab. 2). Permeability data has been obtained from the Copernicus repository.

Table 1. The total area of test polygons used to determine UTCI values for different land area types, corresponding to Fig. 4.

Land area type	Area [m ²]
Urban	7,929,513

Rural	7,940,950
Vegetation	8,098,191

Table 2. Share of areas with different permeability in test polygons for 3 area types [%]

Surface impermeability	Share in area types [%]		
	Urban	Rural	Vegetation
<50 %	29.8	74.7	95.9
50-75 %	39.0	21.6	3.7
75-90 %	19.7	3.1	0.3
>90 %	11.5	0.7	0.0

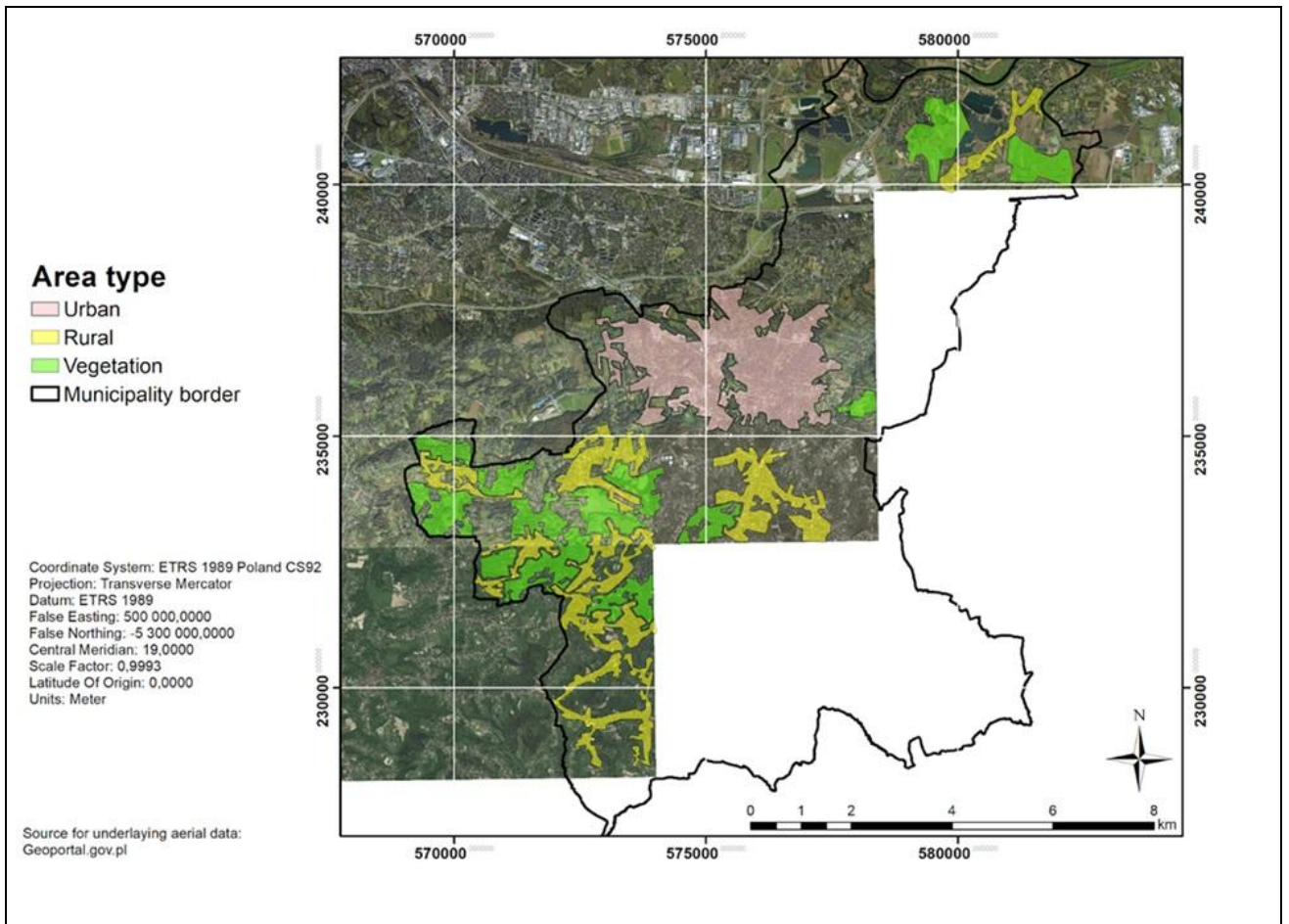


Fig. 4. Test polygons for 3 land area types in Wieliczka municipality. Aerial data obtained from Geoportal.gov.pl

Then, UTCI values have been extracted from all pixels located in a given land area type (urban, rural, vegetation), separately for each weather type considered, based on the results presented in Figure 3. For each weather type, sets of UTCI values acquired from different area types have been compared with each other. The head-to-head comparison was performed using the extended 5-numbers summary method (Hoaglin et al. 2000), taking into account the arithmetic mean, median, minimum value, maximum value, 25th and 75th percentile (1st and 3rd quartiles), using authorial script created in the R computing environment. Results are presented as boxplots, using a modified Tukey method (Chambers et al. 1983) (Fig. 5). The median is shown with a thick black line and the arithmetic mean with a '+' sign. In addition, the median confidence interval was plotted as indentations in the sides of the boxes. The confidence interval of the

median has been calculated according to the formula:

$$x = M \pm 1.57 \frac{IQR}{\sqrt{n}}$$

where: x - value of the lower or upper limit of the confidence interval, respectively, M - median value, IQR - interquartile range value, n - number of observations (Chambers et al., 1983).

In the boxplots (Fig. 5), the crossbar of the lower bar denotes the smallest empirical value of the UTCI that ranges from the first quartile to the first quartile value reduced by 1.5 times the interquartile range. The crossbar of the upper bar represents the largest empirical value that ranges from the third quartile to the value of the third quartile plus 1.5 multiples of the

interquartile range. Above the bar of the upper band and below the bar of the lower band, there may be circles, denoting outliers. The highest circle indicates the absolute maximum value and the lowest the absolute minimum value in a given set. In addition, the statistical significance of the differences between UTCI values from series originating in different land

area types was tested separately for each weather type. For this purpose, the Two-Sample Kolmogorov-Smirnov has been performed, on each pair of sets of UTCI values from different land type areas (urban-rural, urban-vegetation and rural-vegetation). The results are presented in Table 3.

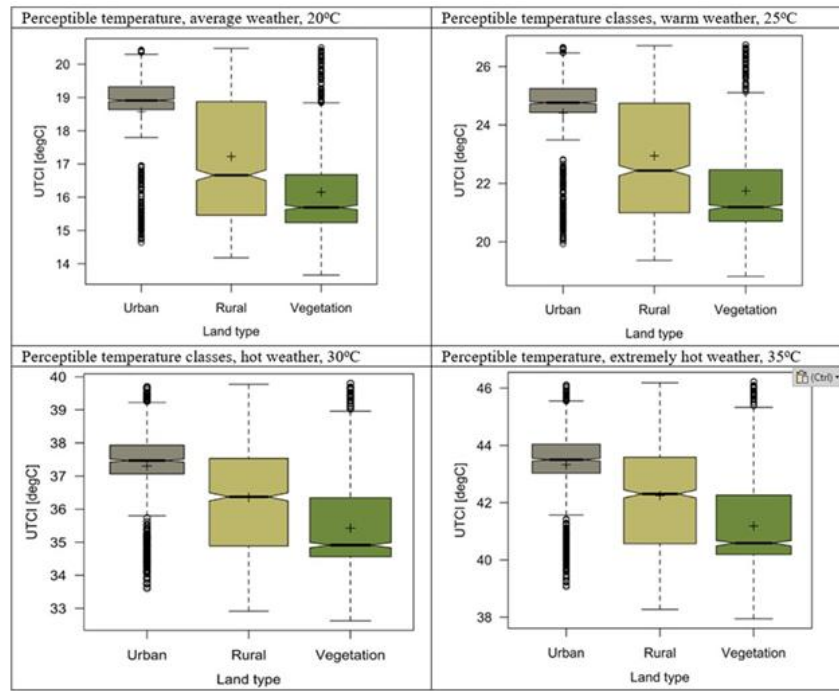


Fig.5. Distribution of UTCI values in urban, rural and vegetation areas in 4 weather types.

Table 3. The Two-Sample Kolmogorov-Smirnov test results for each pair of sets of UTCI values from different land area types (urban-rural, urban-vegetation and rural-vegetation)

Compared UTCI series	D	p	α	Statistical significance
AW_U & AW_R	0.45	0	0.05	TRUE
AW_U & AW_V	0.72	0	0.05	TRUE
AW_R & AW_V	0.29	0	0.05	TRUE

WW_U & WW_R	0.47	0	0.05	TRUE
WW_U & WW_V	0.72	0	0.05	TRUE
WW_R & WW_V	0.29	0	0.05	TRUE
HW_U & HW_R	0.44	0	0.05	TRUE
HW_U & HW_V	0.66	0	0.05	TRUE
HW_R & HW_V	0.27	0	0.05	TRUE
ExW_U & ExW_R	0.43	0	0.05	TRUE
ExW_U & ExW_V	0.65	0	0.05	TRUE
ExW_R & ExW_V	0.27	0	0.05	TRUE

AW - average weather, WW - warm weather, HW - hot weather, ExW - extremely hot weather, land area category: U - urban, R - rural, V - vegetation, D - value of Kolmogorov-Smirnov test statistics

Data sources: Digital Elevation Model has been acquired from SRTM repository. Spatial data for land cover and permeability have been obtained from the Copernicus repository and were processed using ArcMap 10.8.2 Geographic Information System. UTCI values have also been calculated therein. Statistical analyses, including the Two-Sample Kolmogorov-Smirnov test, as well as the generation of boxplots and histograms, have been conducted in R 4.3.2 software.

3.4. Results and Discussion

It has been found that in each type of weather (average, warm, hot and extremely hot), the UTCI has significantly different values linked with land area types. The urban area displays the highest UTCI values while demonstrating the least internal variation, as reflected by the smallest interquartile range and the lowest

standard deviation: the urban area is characterised by the most unfavorable bio-thermal conditions, with significantly higher perceptible temperatures than the other two types of analysed land use. Even under moderate weather conditions, the median of UTCI in the urban area is higher than the third quartile of UTCI in the rural area.

Results in thermal contrasts are reflected in the strong variation of heat stress in each weather type. Of the three land area types, the rural areas have the strongest variation in UTCI values, both in terms of interquartile range and standard deviation. In each case, they are also marked by the absence of outliers, as the absolute minima and maxima of the UTCI values are within 1.5 times the interquartile range from quartile III upwards and quartile I downwards. This is due to the peculiarities of the rural area, where there is a mosaic of

anthropogenic structures (residential and farm buildings, paved squares and yards) and natural or quasi-natural surfaces (areas of domestic greenery: trees, orchards and gardens).

The differences that have been inferred between the types of use and for each weather type are confirmed by statistical analysis of the pairs using the Kolmogorov-Smirnov test: in each weather type, the variations between all pairs of sets of UTCI values are significant at the α level = 0.05, which rejects the hypothesis that they belong to the same population. The confidence intervals of the medians of the three datasets do not overlap in any of the boxplots, allowing conclusion with 95 % probability that the datasets' medians belong to different populations (Chambers et al. 1983).

The variation in heat stress in different areas has to do with their structure of varying permeability resulting from land use (Fig. 6). The perception of heat here is linked to the

water vapor in the air, determined by access to the water resources stored in the soil profile and the water vapor supplied through evapotranspiration from plants. In Wieliczka urban area, only 29.8 % of the surface is composed of permeable terrain that allows water to infiltrate freely into the soil profile - this is land that is undeveloped, naturalised, covered with vegetation or consists of exposed soil (Fig. 6). More than 70 % of urban areas have limited permeability, of which more than 30 % are poorly permeable or impermeable. The limited permeability is due to high-density urban development and impermeable communication infrastructure (roads, footpaths). It has been found that with a proportion of built-up areas or artificial impermeable surfaces of more than 70 %, a significant increase in UTCI and negative climate impacts is observed, compared to rural areas and vegetation-covered land.

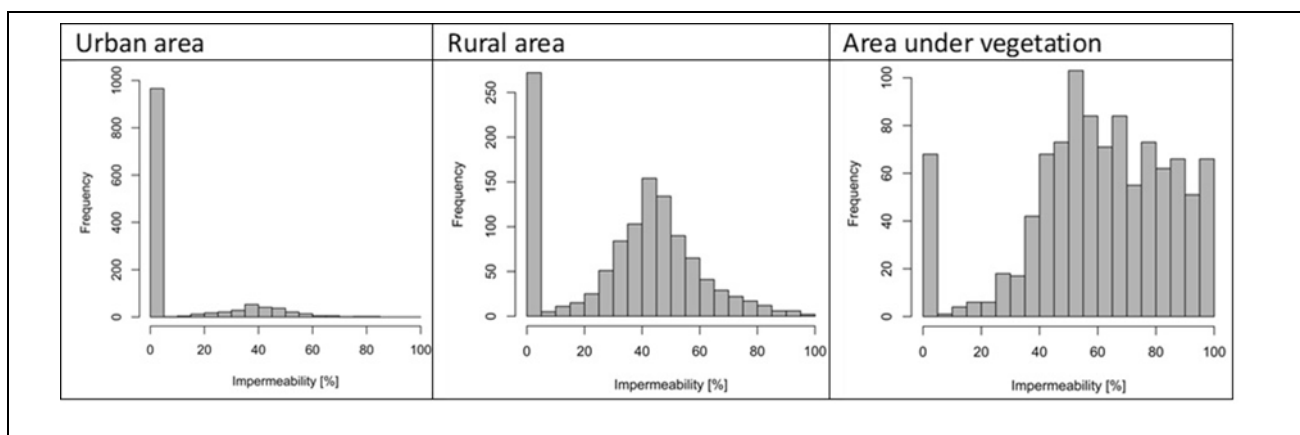


Fig. 6. Permeability frequency for three types of investigated land uses: urbanised, rural and under vegetations, data calculations are prepared for the regions displayed in Figure 4.

In the rural zones, nearly $\frac{3}{4}$ of the area is composed of vegetated permeable land (Fig. 6). 21.6 % is made up of moderately permeable surfaces, poorly permeable and impermeable sites associated with strictly built-up areas is only 3.8 %. The UTCI values in such an area are significantly lower than in the urban area. This shows that reducing the density of buildings and the overall proportion of artificial surfaces in the urban fabric in favor of

naturalised, vegetation-covered surfaces can have positive consequences for the local bioclimate, making it possible to reduce heat stress in all types of weather. Although the most favorable bioclimatic conditions in terms of heat stress are found in the areas predominantly covered with vegetation, where the vast majority of land is permeable (almost 96 % in the case of the municipality of Wieliczka, Fig. 6), in each type of built-up area it is worthwhile

to carry out measures to reduce the share of artificial surfaces in order to improve current and future climatic conditions.

Significantly, even if, in a given type of weather, the UTCI values in urban, rural and vegetation areas belong to the exact same heat stress class, the urban area are placed near the upper end of the range, while the figures in the rural and non-urbanised area are placed in the middle part (Fig. 5). This is particularly the case for warm, hot and extremely hot weather. The example of rural development areas shows that a reduction in urban density and the introduction of even patchy vegetation areas significantly reduces thermal stress, contributing to an improvement in living comfort in the respective location.

The average UTCI value within the same weather type is approximately 1.2 °C lower in rural areas compared to urban areas, but the benefits on a case-by-case basis may be even greater. The largest possible differences between UTCI indexes under a single weather type reach almost 8 °C. This shows that with a suitable modification of the urban fabric structure and the implementation of natural or quasi-natural areas, it is possible to achieve significant improvements in the thermal comfort of the inhabitants of an anthropogenic environment.

Given above, the results prove vegetation's influence on thermal comfort. Statistically, while analysing UTCI index as a response for the type of topoclimate units, the presence of low permeability at dense urban tissue is proved (Fig. 2, 3, 5, 6). The higher heat stress is obvious for impermeable areas such as roofs, roads, external parking lots, etc. That has its statistical representation as differences between vegetation covered regions and rural land use (respectively, Fig. 5 and 6). But the question is, how the climate's future condition will influence the already existing quality of life from a thermal point of view and how to improve it?

From a methodological point of view, results

are clarifying the spatial distribution of the vulnerability caused by the heat stress. Depending on the sun-based energy delivered to the active surface and its response to solar radiation, certain UTCI values are reached in various weather types, along with a certain level of thermal stress. This environmental response exists independently from the time scale, i.e. the duration of the certain type of meteorological conditions.

What makes a difference are periods of certain types of weather. We are already facing waves of extremely hot weather, particularly called heat waves. As Klingelhöfer et al. (2023) underlines, research on heat waves conditions are quite recent and regularly are associated with typical parameters as temperature, period, area and mortality. There are two aspects coming after the heatwave presence: (1) number of people exposed and (2) the prediction of presence and duration of the phenomenon in the future climate conditions.

Answering the second aspect, for Wieliczka municipality, the predicted annual period of maximum daily air temperature equal or higher than 25 °C is given in the Fig. 7, after KLIMADA2.0 Programme. For the scenario RCP8.5, with the end of the XXI century we expect around 80 days with hot and extremely hot weather annually. It means that around 22% of the year, saying directly - full Summer, should be expected as delivering high air temperature. Comparing that scenario with results given in Fig. 3, it is highly probable that the city area of Wieliczka municipality will face a seasonal thermal comfort crisis.

As we proved in our analysis, for the same given air temperature, the human thermal conditions could vary from highly unfavourable in the urbanised area to acceptable in the rural landscape (Fig. 5). The difference is made by the land use structure and surface permeability (Fig. 4, 6). Statistical analysis provides the threshold of minimum 50 % of surface permeability to reduce thermal stress significantly (Tab. 2, 3; Fig. 6).

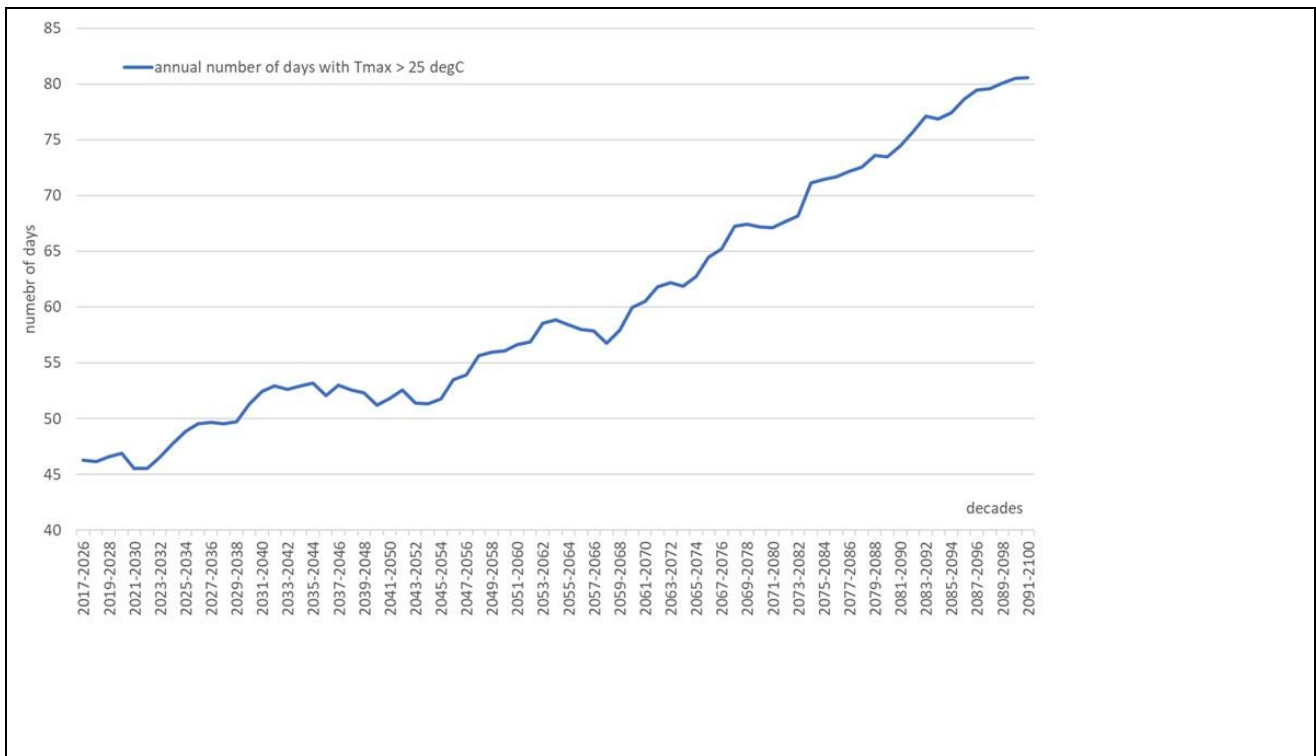


Fig. 7. Annual number of days with the maximum daily temperature above 25 °C, predicted for Wieliczka municipality, RCP8.5, calculations made for decades, after www.klimada2.ios.gov.pl/ and EURO-CORDEX, downscaled.

For the already existing thermal response of the urban fabric and municipal infrastructure, we are emphasising that the solution to adapt to future climate conditions is to adapt to biodiversity restoration. As it is given in the tab. 3, the presence of vegetation greatly reduces thermal stress, giving even up to 9 °C of temperature difference in comparison to heavily urbanised areas.

Nowadays, thermal stress impact in cities is unavoidable without technological investment in new, advanced material and constructions (Al-Yasiri and Szabó, 2023). That generates high costs which are regularly not affordable in a short period of time for infrastructure owners, additionally time is needed for the implementation of new solutions. Since technological modernisation of cities is the expected direction of actions (Hård and Misa, 2008), what we are arguing is that there are other win-win solutions improving quality of

life and serving biodiversity conservation principles. Ecosystem restoration, as for example, the green-blue infrastructure within the urbanised fabric provides a relief for exhausting thermal conditions in cities.

4 CONCLUSION

Ecosystem restoration presents itself as a multidisciplinary approach that aims to recover degraded areas, promoting the recovery of biodiversity and reestablishing natural ecological processes, in addition to providing better adaptability of people to climate change, allowing their subsistence to be maintained. For the recognised thermal stress areas, we advise the implementation of restoration projects that enable the creation of microclimates suitable for human thermal comfort. The restoration of ecosystems, including ecosystems present in urban areas,

presents itself as a promising way to alleviate the burden of escalating thermal conditions in cities. This way city communities' health comfort can be significantly supported as well.

The ecosystem restoration plays an important role in mitigating and adapting to climate change, in addition to offering a series of other environmental, social and economic benefits. For adaptation to climate change in urban areas, restoration presents itself as a biodiverse, human and also technological approach, being essential in the search of thermally resilient, sustainable and harmonious cities.

Presented results proves that it is essential to model the effectiveness of these measures in conjunction with the identification of priority areas for ecosystem restoration, this approach is extremely important for formulating future strategies aimed at restoration and local and regional sustainable development. We recommend prioritising and actively involving communities and traditional peoples in the definition and implementation of ecosystem restoration measures to ensure the effectiveness, environmental justice and resilience of adaptation actions.

REFERENCES

- Afelt, A., Szymalski, W., and Leziak, K. (2022) Urban Thermal Comfort–Reality and Challenges. *Studia Ecologiae et Bioethicae*, 20(3). <https://doi.org/10.21697/seb.2022.24>
- Åkesson, A., Curtsdotter, A., Eklöf, A., Ebenman, B., Norberg, J., and Barabás, G. (2021) The importance of species interactions in eco-evolutionary community dynamics under climate change. *Nature Communications*, 12(1), 4759. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24977-x>
- Alessa, L., and Chapin, F.S. (2008) Anthropogenic biomes: a key contribution to earth-system science. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(10), 529–531. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.07.002>
- Alvarez, S.A., Gibbs, S.J., Bown, P.R., Kim, H., Sheward, R.M., and Ridgwell, A. (2019) Diversity decoupled from ecosystem function and resilience during mass extinction recovery. *Nature*, 574(7777), 242–245. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1590-8>
- Al-Yasiri, Q., and Szabó, M. (2023) Hourly analysis of temperature and heat gain reduction for building envelope-compacted phase change material in extremely hot conditions. *Journal of Energy Storage*, 68, 107838. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107838>
- Araújo, M.B., Pearson, R.G., and Rahbek, C. (2005) Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography*, 28(5), 693–695. <https://www.jstor.org/stable/3683759>
- Baguskas, S.A., Clemesha, R.E., and Loik, M.E. (2018) Coastal low cloudiness and fog enhance crop water use efficiency in a California agricultural system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 252, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.015>
- Baldwin-Cantello, W., Tickner, D., Wright, M., Clark, M., Cornelius, S., Ellis, K., Francis, A., Ghazoul, J., Gordon, J. E., Matthews, N., Milner-Gulland, E.J., Smith, P., Walmsley, S., and Young, L. (2023) The Triple Challenge: synergies, trade-offs and integrated responses for climate, biodiversity, and human wellbeing goals. *Climate Policy*, 23(6), 782–799. <https://doi.org/10.1080/14693062.2023.2175637>
- Biggs, C.R., Yeager, L.A., Bolser, D.G., Bonsell, C., Dichiera, A.M., Hou, Z., Spencer R. Keyser, Alexis J. Khursigara, Kaijun Lu, Arley F. Muth, Benjamin Negrete Jr., and Erisman, B. E. (2020) Does functional redundancy affect ecological stability and resilience? A review and meta-analysis. *Ecosphere*, 11(7), e03184. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3184>
- Binarti, F., Koerniawan, M.D., Triyadi, S., Utami, S.S., and Matzarakis, A. (2020) A review of outdoor thermal comfort indices and neutral ranges for hot-humid regions. *Urban Climate*, 31, 100531. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100531>
- Błażejczyk, K. (2001) Koncepcja przeglądowej mapy topoklimatycznej Polski.[w:] In: Kuchcik, M. (ed.) Współczesne badania topoklimatyczne. Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Dokumentacja Geograficzna, 23, 131–141. https://rcin.org.pl/Content/6254/PDF/WA51_16137_r2000-nr23_Dokumentacja-Geogr.pdf
- Błażejczyk, K. (2010) UICI-nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka= UICI-new index for assessment of heat stress in man. *Przegląd Geograficzny*, 82(1), 49–71. https://rcin.org.pl/igipz/Content/947/PDF/Wa51_10108_r2010-t82-z1_Przegląd-Geograficzny-Błażejczyk.pdf
- Bounoua, L., DeFries, R., Collatz, G.J., Sellers, P., and Khan, H. (2002) Effects of land cover conversion on surface climate. *Climatic Change*, 52, 29–64. <https://doi.org/10.1023/A:1013051420309>
- Brancalion, P.H., Viani, R.A., Strassburg, B.B., and Rodrigues, R.R. (2012) Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva*, 63(239), 41–50. https://www.rncalliance.org/WebRoot/rncalliance/Shops/rncalliance/509E/0633/706F/6EAF/F598/C0A8/D2F8/45D2/DTP2_239_English_Brancalion_0020_et_0020_al_4-10-12.pdf
- Brancalion, P.H.S., and Holl, K.D. (2020) Guidance for successful tree planting initiatives. *Journal of Applied Ecology*, 205(4969), 2349–2361. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13725>
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., and Havenith, G. (2012) Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56, 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Campbell, S., Remenyi, T.A., White, C.J., and Johnston, F.J. (2018) Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*, 53, 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.08.017>
- Carbone, M.S., Park Williams, A., Ambrose, A.R., Boot, C.M., Bradley, E.S., Dawson, T.E., Schaeffer, S.M., Schimel, J.P., and Still, C.J. (2013) Cloud shading and fog drip influence the metabolism of a coastal pine ecosystem. *Global Change Biology*, 19(2), 484–497. <https://doi.org/10.1111/gcb.12054>
- CBD - Convention on Biological Diversity. (2021) First draft of the post-2020 Global Biodiversity Framework - Note by the Co-Chairs (CBD/WG2020/3/3). UNEP. <https://www.cbd.int/doc/c/abb5/591f/2e46096d3f0330b08ce87a45/wg2020-03-03-en.pdf>
- Chambers, J.M., Cleveland W.S., Kleiner B., Tukey, P.A. (1983) Comparing data distributions: notched box plots. In: Chambers, J.M., Cleveland W.S., Kleiner B., Tukey, P.A. (eds.) Graphical methods for data analysis. Wadsworth International Group, Belmont.
- Chen, X., Kang, B., Li, M., Du, Z., Zhang, L., and Li, H. (2023) Identification of priority areas for territorial ecological conservation and restoration based on ecological networks: A case study of Tianjin City, China. *Ecological Indicators*, 146, 109809. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109809>
- Dee, L.E., Cowles, J., Isbell, F., Pau, S., Gaines, S.D., and Reich, P.B. (2019) When do ecosystem services depend on rare species?. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(8), 746–758. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.03.010>
- Di Sacco, A., Hardwick, K.A., Blakesley, D., Brancalion, P.H., Breman, E., Cecilio Rebola, L., Dixon, K., Elliott, S., Ruyonga, G., Shaw, K., Smith, P., Smith, R.J., and Antonelli, A. (2021) Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, 27(7), 1328–1348. <https://doi.org/10.1111/gcb.15498>
- Díaz, S., Settele, J., Brondizio, E.S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., Arnet, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H.M., Chan, K.M.A., Garibaldi, L.A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G.F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razaque, J., Reyers, B., Roy Chowdhury, R., Shin, Y.J., Visseren-Hamakers, I.J., Willis, K.J., and Zayas, C.N. (2019) Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- Ellis, E.C. (2024) The Anthropocene condition: evolving through social–ecological transformations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 379(1893), 20220255.

- <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0255>
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., and Norberg, J. (2003) Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488–494. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0488:RDECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2)
- Feinberg, A. (2023) Urbanization Heat Flux Modeling Confirms It Is a Likely Cause of Significant Global Warming: Urbanization Mitigation Requirements. *Land*, 12(6), 1222. <https://doi.org/10.3390/land12061222>
- Felappi, J.F., Sommer, J.H., Falkenberg, T., Terlau, W., and Kötter, T. (2020) Green infrastructure through the lens of “One Health”: A systematic review and integrative framework uncovering synergies and trade-offs between mental health and wildlife support in cities. *Science of The Total Environment*, 748, 141589. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141589>
- Fischer, J., Riechers, M., Loos, J., Martin-Lopez, B., and Temperton, V. M. (2021) Making the UN decade on ecosystem restoration a social-ecological endeavour. *Trends in Ecology*
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., and Dixon, K. (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <http://hdl.handle.net/20.500.11937/88522>
- Garuma, G.F. (2022) How the interaction of heatwaves and urban heat islands amplify urban warming. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 3(2), 1–42. <https://doi.org/10.21926/aer.2202022>
- Gomes, M.F., and Ferreira, L.J. (2018) Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável. *Direito e Desenvolvimento*, 9(2), 155–178. <https://doi.org/10.25246/direitoedesenvolvimento.v9i2.667>
- Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger, W.H., Shoch, D., Siikamäki, J.V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R.T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M.R., Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, S.M., Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, F.E., Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E., and Fargione, J. (2017) Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Hård, M., and Misa, T.J. (2008). *Modernizing European Cities: Technological Uniformity and Cultural Distinction*. In M. Hård, and T.J. Misa. *Urban Machinery: inside Modern European Cities* (pp. 1-20). The MIT Press.
- Harlan, S.L., and Ruddell, D.M. (2011). Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Current opinion in environmental sustainability*, 3(3), 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001>
- Hibbard, M., and Karle, K. (2002) Ecosystem restoration as community economic development? An assessment of the possibilities. *Community Development*, 33(2), 39–60. <https://doi.org/10.1080/15575330209490092>
- Hoaglin D.C., Mosteller F., Tukey J.W. (2000) *Understanding robust and exploratory data analysis*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- IPCC. (2023) *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Lee, H., and Romero, J. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Klingelhöfer, D., Braun, M., Brüggmann, D., Groneberg D.A. (2023) Heatwaves: does global research reflect the growing threat in the light of climate change?. *Global Health* 19, 56. <https://doi.org/10.1186/s12992-023-00955-4>
- Kronemberger, D.M.P. (2019) Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. *Ciência e cultura*, 71(1), 40–45. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000100012>
- Kumar, R., Pandey, A., Rana, R., and Yadav, A. (2019) Climate Change and Mitigation through Agroforestry. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2019.806.198>.
- Lane, P.N., Benyon, R.G., Nolan, R.H., Keenan, R.J., and Zhang, L. (2023) Forests, fire and vegetation change impacts on Murray-Darling basin water resources. *Australasian Journal of Water Resources*, 27(1), 68–84. <https://doi.org/10.1080/13241583.2023.2179555>
- Leclerc, C., Courchamp, F., and Bellard, C. (2020) Future climate change vulnerability of endemic island mammals. *Nature communications*, 11(1), 4943. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18740-x>
- Lee, J.T., Bailey, N., and Thompson, S. (2002) Using geographical information systems to identify and target sites for creation and restoration of native woodlands: a case study of the Chiltern Hills, UK. *Journal of Environmental Management*, 64(1), 25–34. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0495>
- Lerambert, A. (2022) United Nations-Convention on Biological Diversity and COP15. *WellBeing News*, 4(7), 2. <https://www.wellbeingintludiesrepository.org/wbn/vol4/is7/2>
- Li, X., Stringer, L.C., and Dallimer, M. (2022) The impacts of urbanisation and climate change on the urban thermal environment in Africa. *Climate*, 10(11), 164. <https://doi.org/10.3390/cli10110164>
- Liu, Y., Liu, S., Wang, F., Liu, H., Li, M., Sun, Y., Wang, Q., and Yu, L. (2022) Identification of key priority areas under different ecological restoration scenarios on the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Environmental Management*, 323, 116174. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116174>
- Loreau, M., Barbier, M., Filotas, E., Gravel, D., Isbell, F., Miller, S.J., Montoya, J.M., Wang, S., Aussenac, R., Germain, R., Thompson, P.L., Gonzalez, A., and Dee, L.E. (2021) Biodiversity as insurance: from concept to measurement and application. *Biological Reviews*, 96(5), 2333–2354. <https://doi.org/10.1111/brv.12756>
- Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M.G., Field, C.B., and Knowlton, N. (2020) Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190104. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>
- Markard, J., Raven, R., and Truffer, B. (2012) Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41(6), 955–967. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>
- McCarty, J.P. (2001) Consecuencias Biológicas de Cambios Climáticos Recientes. *Conservation Biology*, 15(2), 320–331. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x>
- Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmqvist, T., Hoegh-Guldberg, O., Lavorel, S., Mace, G.M., Palmer, M., Scholes, R., and Yahara, T. (2009) Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current opinion in environmental sustainability*, 1(1), 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.07.006>
- Nunez, S., Arets, E., Alkemade, R., Verwer, C., and Leemans, R. (2019) Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2° C enough?. *Climatic Change*, 154, 351–365. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02420-x>
- Oliver, T.H., Heard, M.S., Isaac, N.J., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C.D.L., Petchey, O.L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K.B., Mace, G.M., Martín-López, B., Woodcock, B.A., and

- Bullock, J.M. (2015) Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(11), 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>
- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Du, Y., Meersmans, J., and Qiu, S. (2018) Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *Science of the Total Environment*, 644, 781–790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.292>
- Pilotto, I.L., Rodriguez, D.A., Chou, S.C., Garofolo, L., and Gomes, J.L. (2023) Impacts of the land use and land-cover changes on local hydroclimate in southwestern Amazon. *Climate Dynamics*, 61, 5597–5612. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06872-x>
- Ratajczak, Z., Carpenter, S.R., Ives, A.R., Kucharik, C.J., Ramiadantsoa, T., Stegner, M.A., Williams, J.M., Zhang, J., Turner, M. G. (2018) Abrupt change in ecological systems: inference and diagnosis. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(7), 513–526. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.04.013>
- Rogers, B.M., Balch, J.K., Goetz, S.J., Lehmann, C.E., and Turetsky, M. (2020) Focus on changing fire regimes: interactions with climate, ecosystems, and society. *Environmental Research Letters*, 15(3), 030201. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d3a>
- Rogers, H.S., Donoso, I., Traveset, A., and Fricke, E.C. (2021) Cascading impacts of seed disperser loss on plant communities and ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 52, 641–666. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-012221-111742>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C.A., Smith, A., and Turner, B. (2020) Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Rimpika, Sharma, D.P., Ajender (2021) Vulnerability of temperate fruit production to climate change: Adaptation and mitigation measures: A review. *Agricultural Reviews*, 42(2), 190–196. <https://doi.org/10.18805/AG.R-2016>
- Shuman, B. (2012) Patterns, processes, and impacts of abrupt climate change in a warm world: the past 11,700 years. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(1), 19–43. <https://doi.org/10.1002/wcc.152>
- Sieber, P., Ericsson, N., Hammar, T., and Hansson, P.A. (2022) Albedo impacts of current agricultural land use: Crop-specific albedo from MODIS data and inclusion in LCA of crop production. *Science of the Total Environment*, 835, 155455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155455>
- Silva, R.G.P., Lima, C.L., and Saito, C.H. (2023a) Urban green spaces and social vulnerability in Brazilian metropolitan regions: Towards environmental justice. *Land Use Policy*, 129, 106638. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106638>
- Silva, R.G.P., Lima, C.L., Quinn, S.D., Afelt, A., Laques, A.-E., and Saito, C. H. (2023b) Urban Green Spaces in Brazil: Challenges and Opportunities in the Context of the COVID-19 Pandemic. *Studia Ecologiae et Bioethicae*, 21(1), 69–88. <https://doi.org/10.21697/seb.2023.06>
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., and Ludwig, C. (2015) The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81–98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- Strassburg, B.B., Iribarrem, A., Beyer, H.L., Cordeiro, C.L., Crouzeilles, R., Jakovac, C.C., Junqueira, A.B., Lacerda, E., Latawiec, A.E., Balmford, A., Brooks, T.M., Butchart, S.H.M., Chazdon, R.L., Erb, K.-H., Brancalion, P., Buchanan, G., Cooper, D., Díaz, S., Donald, P.F., Kapos, V., Leclère, D., Miles, L., Obersteiner, M., Plutzer, C., Scaramuzza, C.A.M., Scarano, F.R., and Visconti, P. (2020) Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586(7831), 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- Tölle, M.H. (2022) Impact on climate by land-atmosphere interactions. Kassel, Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen. <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/14030>
- Trew, B.T., and Maclean, I.M. (2021) Vulnerability of global biodiversity hotspots to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 30(4), 768–783. <https://doi.org/10.1111/geb.13272>
- Turner, M.G., Calder, W.J., Cumming, G.S., Hughes, T.P., Jentsch, A., LaDeau, S.L., Lenton, T.M., Shuman, B.N., Turetsky, M.R., Ratajczak, Z., Williams, J. W., Williams, A.P., and Carpenter, S.R. (2020) Climate change, ecosystems and abrupt change: science priorities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190105. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0105>
- UNGA (1987) A/42/427 Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N87/184/67/IMG/N8718467.pdf?OpenElement>
- UNGA. (2015) A/Res/70/1 Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>
- UNGA. (2019) Resolution adopted by the general assembly on 1 March 2019: 73/284. United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030). <https://digitallibrary.un.org/record/3794317?ln=ru>
- Waage, J., Yap, C., Bell, S., Levy, C., Mace, G., Pegram, T., Unterhalter, E., Dasandi, N., Hudson, D., Kock, R., Mayhew, S., Marx, C., Poole, N. (2015) Governing the UN sustainable development goals: interactions, infrastructures, and institutions. *The Lancet Global Health*, 3(5), e251–e252. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(15\)70112-9](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(15)70112-9)
- Wang, S.W., Gebru, B.M., Lamchin, M., Kayastha, R.B., and Lee, W.K. (2020) Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. *Sustainability*, 12(9), 3925. <https://doi.org/10.3390/su12093925>
- Williams, J.W., and Burke, K. (2019) Past abrupt changes in climate and terrestrial ecosystems. In: Lovejoy, T., Hannah, L. (eds.) *Climate change and biodiversity: transforming the biosphere* (pp. 128–141). Yale University Press.
- Williams, J.W., Burke, K.D., Crossley, M.S., Grant, D.A., and Radeloff, V.C. (2019) Land-use and climatic causes of environmental novelty in Wisconsin since 1890. *Ecological Applications*, 29(7), e01955. <https://doi.org/10.1002/eap.1955>
- Yachi, S., and Loreau, M. (1999) Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(4), 1463–1468. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1463>
- Zamignan, G., Almeida, A.C., Silva, R.G.P., Gaivizzo, L.H.B., Soares, D.N., and Saito, C.H. (2022) Agenda 2030: inter-relações sistêmicas entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 60, 543–566. <http://doi.org/10.5380/dma.v60i0.78530>
- Zhang, J., Chen, H., Ma, Y., Liu, D., Liang, X., and Chen, W. (2023) Identification of priority areas for ecological restoration based on ecological security and landscape elements. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 35307–35325. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24711-0>
- Zorko, M., Kovač, I., Kovač, S., Stanko, D., and Pandžić, K. (2022) Impact of global warming on average annual air temperature in Varaždin. *Environmental Engineering*, 9(1–2), 95–103. <https://doi.org/10.37023/ee.9.1-2.10>
- Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B.J., Seneviratne,

S.I., Ward, P.J., Pitman, A., AghaKouchak, A., Bresch, D.N., Leonard, M., Wahl, T., and Zhang, X. (2018) Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), 469–477. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>

