

IX Prêmio Serviço Florestal Brasileiro em Estudos de Economia e Mercado Florestal

5º Lugar

*Restauração florestal multifuncional da
vegetação nativa como solução baseada na
natureza: Onde e como integrar as agendas da
restauração florestal e da bioeconomia?*

Pedro Medrado Krainovic

CNI

CNPq

SERVIÇO FLORESTAL
BRASILEIRO

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

**IX PRÊMIO SERVIÇO FLORESTAL
BRASILEIRO
MERCADO FLORESTAL**

**Restauração florestal multifuncional da
vegetação nativa como solução baseada na
natureza: Onde e como integrar as agendas da
restauração florestal e da bioeconomia?**

Eixo temático: Bioeconomia aplicada à recuperação florestal.

Outubro de 2025

Resumo

A restauração de paisagens florestais emergiu como uma resposta global às crises climáticas, de biodiversidade e sociais, mas sua implementação em larga escala é cronicamente limitada por barreiras de viabilidade financeira que a tornam percebida como um uso da terra economicamente não competitivo. Mecanismos tradicionais, como Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos e projetos de carbono, frequentemente se mostram insuficientes para cobrir os custos de oportunidade e manutenção, enquanto a produção de madeira nativa enfrenta longos ciclos e lacunas de conhecimento técnico. Nesse contexto, a integração de uma bioeconomia, com produção de produtos não madeireiros (PFNMs) de valor agregado à restauração, surge como uma alternativa promissora para aumentar a atratividade e o engajamento de proprietários de terras. Este estudo aborda as dimensões fundamentais de “onde” e “como” implementar a restauração florestal multifuncional no estado de São Paulo, um polo de inovação e demanda florestal no Brasil. O objetivo foi desenvolver mapas de adequabilidade para a restauração bioeconômica, ponderando fatores ambientais, sociais e econômicos, e, em uma segunda etapa, aprofundar o potencial de espécies nativas em uma região de alta adequabilidade. A metodologia principal utilizou uma abordagem de Avaliação Multicritério integrada a Sistemas de Informação Geográfica (MCE-GIS), aplicando o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) para ponderar 15 fatores distintos, com pesos definidos a partir da consulta a especialistas. Para o estudo de caso no Vale do Paraíba, foram realizados inventários florestais, uma revisão sistemática da literatura e uma busca por patentes para identificar o potencial de uso das espécies presentes nas novas florestas. Os resultados revelam que os critérios para a restauração multifuncional são majoritariamente econômicos (50%), em contraste com a restauração puramente ecológica, guiada por fatores ambientais (72%). Os mapas de adequabilidade indicam que, embora a maior parte das pastagens degradadas do estado seja apta a algum nível de restauração, apenas 1,64% da área apresenta alta adequabilidade para o modelo multifuncional, contra aproximadamente 25% para o modelo ecológico, com maior extensão de áreas e de áreas mais promissoras concentradas no Vale do Paraíba e no Pontal do Paranapanema. A análise de potencial no Vale do Paraíba identificou 167 espécies nativas com usos bioeconômicos, mas expôs um gargalo crítico: a pesquisa científica está concentrada nas fases iniciais de prospecção (laboratorial), com apenas 5,8% dos estudos focados em práticas silviculturais

essenciais para a produção. Adicionalmente, o mercado, evidenciado por patentes, demonstra alto interesse internacional na biodiversidade local, mas uma forte preferência da indústria nacional por espécies exóticas. Conclui-se que a metodologia MCE-GIS é uma ferramenta robusta para o planejamento espacial da restauração em escala fina (30 m) e que a integração com a bioeconomia é um caminho viável, embora necessite de políticas de incentivo para ganhar escala. O estudo fornece um arcabouço que conecta o planejamento espacial (“onde”) com o potencial de espécies (“como”), oferecendo subsídios para alinhar políticas públicas às metas de restauração e posicionar o Brasil na liderança de uma nova era de soluções baseadas na natureza.

Palavras-Chave: Bioeconomia. Produtos florestais. Restauração florestal multifuncional.

Abstract

Forest landscape restoration has emerged as a global response to the climate, biodiversity, and social crises, but its large-scale implementation is chronically limited by financial viability barriers that cause it to be perceived as an economically uncompetitive land use. Traditional mechanisms, such as Payments for Ecosystem Services and carbon projects, often prove insufficient to cover opportunity and maintenance costs, while native timber production faces long cycles and technical knowledge gaps. In this context, the integration of a bioeconomy, with the production of value-added non-timber forest products (NTFPs) in restoration, emerges as a promising alternative to increase attractiveness and engagement among landowners. This study addresses the fundamental dimensions of "where" and "how" to implement multifunctional forest restoration in the state of São Paulo, a hub of innovation and forest demand in Brazil. The objective was to develop suitability maps for bioeconomic restoration by weighting environmental, social, and economic factors, and, in a second stage, to delve into the potential of native species in a high-suitability region. The main methodology employed a Multi-Criteria Evaluation approach integrated with Geographic Information Systems (MCE-GIS), applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) to weigh 15 distinct factors, with weights defined through expert consultation. For the case study in the Paraíba Valley, forest inventories, a systematic literature review, and a patent search were conducted to identify the potential use of species present in the new forests. The results reveal that the criteria for multifunctional restoration are predominantly economic (50%), in contrast to purely ecological restoration, which is guided by environmental factors (72%). The suitability maps indicate that although most of the state's degraded pastures are suitable for some level of restoration, only 1.64% of the area shows high suitability for the multifunctional model, compared to approximately 25% for the ecological model, with the most promising areas concentrated in the Paraíba Valley and the Pontal do Paranapanema. The potential analysis in the Paraíba Valley identified 167 native species with bioeconomic uses but exposed a critical bottleneck: scientific research is concentrated in the initial prospecting phases (laboratory-based), with only 5.8% of studies focused on silvicultural practices essential for production. Additionally, the market, as evidenced by patents, shows high international interest in local biodiversity but a strong preference by the national industry for exotic species. It is concluded that the MCE-GIS methodology is a robust tool

for fine-scale (30 m) spatial planning and that integration with the bioeconomy is a viable path, although it requires incentive policies to achieve scale. The study provides a framework that connects spatial planning ("where") with species potential ("how"), offering support to align public policies with restoration goals and positioning Brazil at the forefront of a new era of nature-based solutions.

Keywords: Bioeconomy. Forest products. Multifunctional Forest restoration.

Sumário

1. Introdução	8
2. Métodos	13
2.1. Área de Estudo.....	13
2.2. Descrição dos dados para construção do mapa de adequabilidade.....	15
2.3. A abordagem multicritério	19
2.4. Atribuição de pesos para integração de dados	20
2.5. Processamento de dados	21
2.6. O mapa de adequabilidade.....	22
3. Indo além do onde, trabalhando a dimensão do “como” a partir da identificação de potencialidades locais.	23
3.1. Identificação de potenciais bioeconômicos de novas florestas.....	24
3.2. Classificação dos estudos levantados em áreas do conhecimento orientadas ao mercado	26
3.3. Levantamento de patentes existentes.....	27
3.4. Classificando espécies nativas por seu potencial bioeconômico	28
4. Resultados	28
4.1. Avaliação dos fatores de adequação para mapeamento	28
4.1.1. Mapas de adequabilidade para cada meta de restauração florestal.....	30
4.2. Potenciais bioeconômicos da região do Vale do Paraíba.....	33
5. Discussão	43
5.1. O mapas de adequabilidade	45
5.2. Potenciais bioeconômicos e o desdobramento de um mapa de adequabilidade	46
6. Conclusões	50
7. Perspectivas futuras	50
8. Referências	51

Restauração florestal multifuncional da vegetação nativa como solução baseada na natureza: Onde e como integrar as agendas da restauração florestal e da bioeconomia?

1. INTRODUÇÃO

A demanda global por restauração de paisagens florestais ganhou destaque em meio aos desafios atuais da humanidade, como mudanças climáticas, perda de biodiversidade, escassez de água e desigualdades sociais (HUA et al., 2022). No entanto, ainda existem barreiras críticas à implementação de projetos de restauração em larga escala e duradouros, especialmente no que diz respeito à viabilidade financeira das iniciativas de restauração (BRANCALION; HOLL, 2024; FAGAN et al., 2020). Os mecanismos financeiros envolvem riscos e frequentemente não cobrem os custos de oportunidade, implementação e manutenção da terra (AZA et al., 2021). De modo geral, (i) as iniciativas de Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos (PSA) relacionados ao provisionamento de água têm dependido de fundos públicos e contratos de curto prazo, limitando sua eficácia em países tropicais em desenvolvimento; (ii) os projetos de carbono enfrentam altos custos de transação e implementação, além de baixos preços de mercado voluntário para créditos de carbono; e (iii) a produção de madeira nativa requer terras extensas, tem altos custos de implementação e ciclos de colheita de longo prazo enfrenta dificuldades com conhecimento limitado sobre silvicultura de espécies nativas; e pode causar danos severos à vegetação em regeneração (KRAINOVIC, et al., 2023; PINTO et al., 2021). Juntas, essas barreiras têm limitado os fluxos de receita da restauração florestal e o engajamento de múltiplos atores locais. Uma alternativa promissora é a produção florestal múltipla, mesclando produtos florestais não madeireiros (PFNMs) de alto valor e produtos florestais madeireiros em projetos de restauração (MAXIMO et al., 2022; NOBRE et al., 2023), porém com um planejamento espacial otimizado, que dá suporte a políticas públicas. Este estudo explora a dimensão do “onde” acoplada ao “como” incentivar restauração florestal produtiva no estado de São Paulo visando a sustentação de paisagens multifuncionais que integram objetivos de conservação da biodiversidade e oportunidades de desenvolvimento econômico.

Vários grupos de pesquisa têm enfatizado a importância de uma abordagem multidisciplinar para o sucesso da restauração de paisagens florestais, uma vez que sua perpetuidade depende de fatores ambientais, sociais e econômicos alinhados aos interesses de múltiplos atores (CROUZEILLES et al., 2020; GASTAUER et al., 2021; JAIMES et al., 2012). Vários programas visando o planejamento e ganho de escala da restauração florestal foram lançados, mas frequentemente carecem de informações sobre os determinantes ambientais e socioeconômicos da adequação da restauração em escala local e regional. Muito se tem discutido sobre como obter recursos financeiros para cobrir os custos da restauração florestal, mas ainda assim, metodologias para determinar as zonas adequadas para a restauração florestal multifuncional são escassas. A importância de cada fator pode ser avaliada de forma diferente por diferentes atores (proprietários de terra, governo, empresas e outros), o que complexifica a escolha de estratégias a serem adotadas. Para superar essa tomada de decisão com múltiplas variáveis, os programas de restauração de paisagens florestais podem ser desenvolvidos dentro da estrutura da teoria da decisão multicritério, respeitando diferentes pontos de vista e necessidades (SAATY, 1987).

O Brasil reforça a meta de restaurar pelo menos 12 milhões de hectares de florestas em todo o país até 2030, conforme acordado no Acordo de Paris — uma área ligeiramente superior à de Portugal. As principais estratégias do governo para promover a restauração florestal abrangem o desenvolvimento de mecanismos financeiros, o apoio à cadeia de valor da restauração florestal, à P&D e à inteligência espacial, e o monitoramento da recuperação da vegetação nativa em múltiplas áreas — sob restrições legais de uso e proteção integral, bem como em zonas rurais de baixa produtividade, por meio da promoção de sistemas integrados de produção. O ganho de escala por meio da restauração de áreas de uso alternativo da terra — áreas definidas por lei onde o uso econômico de espécies nativas plantadas é permitido sem autorização prévia (BRASIL, 2012) —, uma das principais estratégias, ainda precisa de respostas quanto ao como e onde performar tais projetos. A implementação efetiva dos esforços de restauração requer não apenas a organização das ações em uma visão macro, mas também um planejamento meticuloso em escalas menores. Neste trabalho apontamos avanços em como definir áreas adequadas para restauração florestal bioeconômica — isto é, a implementação de estratégias de restauração florestal que incorporem usos econômicos derivados da biodiversidade para aumentar a atratividade,

viabilidade e multifuncionalidade das paisagens restauradas, reconhecendo de forma responsável a contribuição do conhecimento indígena e local.

A bioeconomia é definida como o uso sustentável de recursos naturais, otimização de processos ecológicos para obter serviços ecossistêmicos, conservação da biodiversidade e aplicação da biotecnologia em todos os setores econômicos em benefício da sociedade e da natureza (BUGGE et al., 2016; CLEMENT et al., 2024). Integrar a abordagem bioeconômica de utilização responsável de recursos biológicos pode aumentar a viabilidade financeira e a atratividade da restauração florestal. O uso de produtos com valor agregado de espécies nativas apresenta grande potencial no fornecimento de serviços ecossistêmicos, como alimentos, para combater a desnutrição e outros problemas de saúde, promovendo a criação de riqueza a partir de florestas em pé e reduzindo o desmatamento (MAXIMO et al., 2022; VALLI et al., 2018). Esses modelos de uso da terra exigem políticas de incentivo e regulamentação, pesquisa e integração de investimentos para promover alternativas responsáveis (KRAINOVIC et al., 2024; NOBRE; A. NOBRE, 2019). O uso bioeconômico da terra refere-se a práticas de gestão que geram valor econômico e, ao mesmo tempo, protegem a biodiversidade e as funções ecossistêmicas. Ele atende a importantes questões legais sociais e ecológicas — tanto nacionais quanto internacionais —, particularmente aquelas relacionadas ao patrimônio genético, à proteção e ao acesso ao conhecimento tradicional associado e à biossegurança, conforme estabelecido na legislação brasileira (BRASIL 2006, 2012) e em marcos internacionais como a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) (HOBAN et al., 2024). A CDB é um tratado global sobre conservação da natureza, uso sustentável e repartição justa e equitativa dos benefícios advindos dos recursos genéticos, em vigor desde 1993 e endossado por 195 países e pela União Europeia. No entanto, a restauração florestal ocorre de forma multifacetada e em múltiplos contextos em escala paisagística. Compreender o contexto socioecológico e econômico dos diferentes métodos de reflorestamento é crucial para integrar efetivamente iniciativas bioeconômicas à agenda de restauração florestal.

Em se falando de produção de madeira nativa associada, as plantações biodiversas, estabelecidas principalmente para a restauração ecológica, oferecem diversos benefícios ambientais e socioeconômicos, como a maximização de habitats (DESPOT-BELMONTE et

al., 2017) e o sequestro de carbono (GRISCOM et al., 2017). Em contraste, a demanda por madeira no Brasil é majoritariamente atendida por monoculturas de espécies exóticas e pela exploração ilegal de remanescentes florestais (BRANCALION et al., 2018). Enquanto a produção de madeira exótica predomina em plantações industriais com ciclos curtos no Sul do país, a madeira proveniente de florestas nativas tem sua produção legal limitada. No entanto, a crescente exigência de restauração de áreas de Reserva Legal pela legislação brasileira (BRASIL, 2006) representa uma oportunidade única de integrar a produção de madeira nativa com a restauração de maneira a mitigar custos e até gerar lucro, especialmente considerando o potencial de manejo de espécies com alto valor de mercado (HUA et al., 2022). Embora ainda falte conhecimento sobre o potencial de crescimento de espécies nativas em plantações de restauração, o uso de modelos de crescimento pode ser uma ferramenta crucial para otimizar o manejo e reduzir a pressão sobre as florestas nativas remanescentes, no entanto, os longos ciclos e a falta de conhecimento técnico ainda são importantes barreiras a serem consideradas (KRAINOVIC, et al., 2023). Isso porque a produção de madeira nessas áreas requer árvores de alto valor de mercado que cresçam em um tempo razoável (GÜNTHER et al., 2011).

Outra alternativa para geração de fluxo de caixa é a produção de produtos florestais não madeireiros (PFNMs). A produção de PFNMs com valor agregado envolve a transformação tecnológica de recursos naturais em produtos de com maior valor de mercado, orientada pela ciência e pela inovação (NOBRE; A. NOBRE, 2019). Os PFNMs podem impulsionar o crescimento em diversos setores, abrangendo desde alimentos, saúde e produtos químicos até agricultura, silvicultura e bioenergia (BUGGE et al. 2016). A produção de PFNMs pode resultar em projetos inclusivos que envolvam pequenos e médios agricultores, apoiem uma indústria biotecnológica emergente baseada em espécies nativas cultivadas e gerem empregos e renda em toda a cadeia de suprimentos (ANTUNES et al., 2021; BRANCALION et al., 2022).

Externalidades positivas, como serviços ecossistêmicos e benefícios econômicos da restauração florestal ecológica-econômica, permanecem difíceis de quantificar e raramente são incluídas em análises de custo-benefício (LAMB, 2018; VIANI *et al.*, 2019). É fundamental expandir nosso conhecimento sobre o potencial das espécies nativas atualmente

empregadas em iniciativas de reflorestamento tropical para fornecer produtos de valor agregado, opções para seu manejo visando ao uso sustentável e tendências atuais de mercado (por exemplo, investimentos, demanda e incentivos para o desenvolvimento do mercado). Além disso, é necessário disponibilizar dados para apoiar planos de negócios de projetos de reflorestamento com foco no fornecimento e empilhamento de múltiplos valores para a bioeconomia. Impulsionadas pela demanda por produtos e ingredientes naturais, juntamente com a pressão social por responsabilidade ambiental, as empresas estão reavaliando as cadeias de suprimentos em todo o mundo (CALIXTO, 2019; DE MELLO *et al.*, 2020). Com a mudança em direção aos princípios da sustentabilidade, as indústrias (por exemplo, madeireira, alimentícia, química e farmacêutica) devem crescer e gerar receitas financeiras substanciais (MARKETS & MARKETS, 2022). Programas públicos podem incorporar essas cadeias de suprimentos para facilitar a transição dos mercados existentes.

Os mercados atuais são fortemente baseados na produção industrial de algumas poucas espécies frequentemente exóticas, dominam o mercado de produtos florestais e contribuem para a homogeneização da paisagem (IPBES, 2023). Um novo uso do solo com restauração florestal bioeconômica pode promover mercados com uma gama mais diversificada de produtos de origem local e sustentáveis. Essa mudança pode aumentar a demanda por bioprodutos derivados da restauração florestal. Portanto, é fundamental avançar no conhecimento das bases técnicas e científicas fundamentais para alavancar o conhecimento. Enquanto pouco se sabe sobre as formas ideais de manejo de espécies nativas para múltiplos usos, aumentando seu risco em relação ao investimento em culturas exóticas bem estabelecidas (p. ex. *Pinnus* e *Eucalipto*) uma abordagem que usa sistemas de informação geográfica e avaliação multicritério (SIG-MCE) permite o desenvolvimento de modelos de adequabilidade para diferentes usos do solo, combinando diferentes objetivos e critérios. Para lidar com isso, modelos de avaliação multicritério, focados em processos de tomada de decisão, vêm sendo desenvolvidos. Eles permitem selecionar alternativas que representam diferentes formas de atuação, diferentes hipóteses e diferentes localizações para determinar o uso do solo (JAIMES). As soluções de pesquisa baseadas nesse método de apoio à decisão têm variado amplamente, desde questionários baseados em pesquisas para identificar os principais impulsionadores da restauração florestal (JAIMES *et al.*, 2012), passando por avanços tecnológicos para o monitoramento de florestas (DE ALMEIDA *et al.*,

2024), até a probabilidade espacial explícita de regeneração natural (MOLIN et al., 2018) e sua associação com os custos (GAUSTEUR et al., 2021). Essas abordagens podem ser integradas, reunindo os principais impulsionadores para criar alternativas para a concretização de acordos globais de restauração florestal.

Este trabalho tem como objetivo produzir mapas de aptidão para restauração florestal bioeconômica, com base na ponderação de fatores ambientais, sociais e econômicos pelos atores envolvidos na restauração florestal da região de estudo, o estado de São Paulo. Demonstramos a aplicação da Avaliação Multicritério integrada às técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (MCE-GIS), reunindo, harmonizando e integrando informações de diversos bancos de dados, considerando os aprendizados das últimas duas décadas, o que auxilia na tomada de decisões sobre como lidar com a necessidade de restauração florestal em diferentes contextos de uso do solo, colocando este estudo no hall de alguns que incluem e discutem os principais fatores e razões relacionados aos objetivos da restauração florestal multifuncional. Adicionalmente, fizemos um recorte na região do Vale do Paraíba (região que liga São Paulo ao Rio de Janeiro e Minas Gerais) onde, com dados primários de inventários florestais e construção de bases de dados, identificamos o potencial de uso das espécies presentes nas novas florestas para iniciar um modelo bioeconômico de uso solo (detectadas pelo *Landsat* depois de 1985).

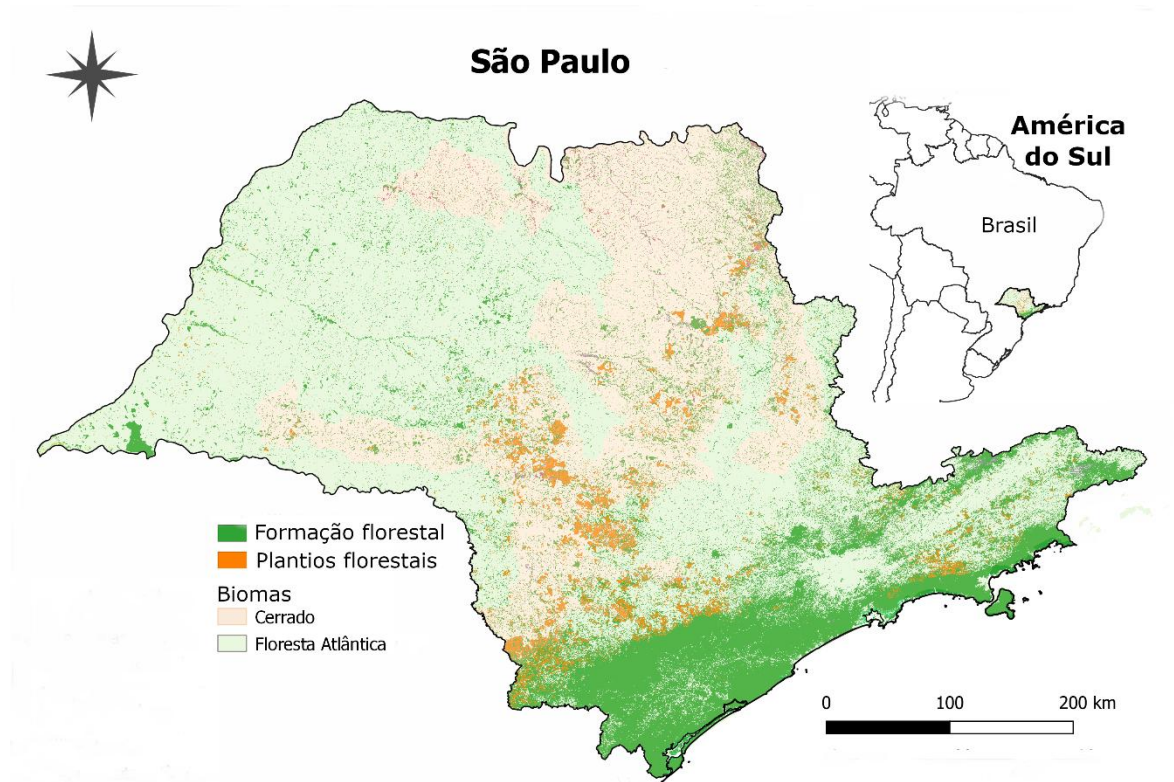
2. MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O deste estudo está nos limites geopolíticos do estado de São Paulo, localizado no sul do Brasil (Figura 1). O estado de São Paulo sofreu enormes pressões durante sua colonização, com uma ocupação massiva de terras comprometendo a água, os alimentos e a biodiversidade (MELI et al., 2017). Recentemente, o estado tornou-se referência internacional em recuperação florestal (BRANCALION et al., 2022; JOLY et al., 2010), liderando ações nas fronteiras do conhecimento para impulsionar diversas iniciativas, integrando aspectos

socioeconômicos ao arcabouço ecológico da restauração florestal. O Estado se destaca na atração de investimentos para a restauração de paisagens florestais devido ao seu grande déficit de vegetação nativa exigido por lei (MELLO et al., 2021; PIFFER et al., 2022), ao mesmo tempo em que concentra atividades de agricultura e silvicultura em larga escala no Brasil (tais empreendimentos precisam recuperar e conservar parte de sua área por lei) e possui milhões de hectares de remanescentes florestais que são prioritários para serem conectados por corredores ecológicos. Além disso, como capital econômica brasileira, reúne empresas de inovação, centros de pesquisa e o mercado consumidor e tem o maior consumo interno de madeira da Amazônia (cerca de 20%), com diversas empresas dependendo dessa madeira em suas atividades, enfrentando o problema da falta de suprimentos e o alto preço deste produto. Dois biomas são encontrados no território paulista, Mata Atlântica e Cerrado, e sua superfície total é de aproximadamente 250.000 km², correspondendo ao tamanho do Reino Unido.

Figura 1 - Estado de São Paulo, fisionomias florestais de interesse e seus biomas.



O Estado de São Paulo tem destaque para atrair investimentos para a restauração de paisagens florestais, pois:

1. Apresenta grande déficit de vegetação nativa em Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) do país (FREITAS et al., 2017; PIFFER et al., 2022) e os compromissos brasileiros nos acordos globais preveem restauração de milhões de hectares;
2. Concentra mais da metade de toda a área de cana no Brasil (5,5 milhões de hectares) e a segunda maior área plantada de eucalipto no Brasil (± 1 milhão de hectares) precisando recuperar e conservar áreas de APP e RL (programa RenovaBio);
3. Possui mais de 3,6 Mha de zonas de amortecimento e corredores ecológicos que devem ser priorizadas na restauração dos ecossistemas nativos e no uso do solo com maior conectividade da paisagem;
4. É o maior consumidor de madeira da Amazônia, absorvendo cerca de 20% da produção. Possui várias empresas que dependem dessa madeira em suas atividades, enfrentando o problema da falta de suprimentos e preço desse produto;
5. Concentra grande PIB, empresas de inovação, centros de pesquisa e mercado consumidor;
6. É pioneiro em sistemas informatizados de apoio à restauração (ex: SIGAM e SARE) legislação de monitoramento (Resolução SMA32/2014) e na redução da degradação de fragmentos florestais (Programas Nascentes, Município Verde e Azul).

Além desse contexto muito favorável, existe um potencial ainda maior em sintetizar e integrar mais avanços científicos de forma a explorar cenários ecológico-econômicos da restauração, também ancorados na economia florestal de espécies nativas. Esta posição é criticamente necessária para alcançar os objetivos globais pró-clima e carece de desenvolvimento de modelos de restauração florestal bioeconômicos, um assunto inovador presente na lista de temas prioritários dos governos no mundo.

2.2. DESCRIÇÃO DOS DADOS PARA CONSTRUÇÃO DO MAPA DE ADEQUABILIDADE.

A análise de avaliação multicritério foi baseada em critérios ambientais, econômicos e sociais. Para cada critério, fatores foram selecionados com base em informações

especializadas sobre o tema, obtidas na literatura, em múltiplas plataformas de SIG e em dados primários para a construção de camadas. Uma consulta a pesquisadores, atores governamentais e academia foi utilizada para definir os fatores (cada variável individual em cada critério). Sempre que possível, buscamos evitar trabalhar com fatores compostos, optando por isolar os fatores determinantes de um fenômeno específico (por exemplo, a probabilidade de regeneração natural tem topografia, distância a corpos d'água e proximidade a fragmentos florestais como principais fatores determinantes, que avaliamos individualmente). Essa abordagem simplifica a análise e evita que variáveis sejam inadvertidamente incluídas várias vezes. Por outro lado, certas variáveis, como o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), compreendem uma infinidade de outras variáveis que são desafiadoras para serem compiladas em uma camada SIG independente (tentar fazê-lo aumentaria significativamente a complexidade da análise e do processamento, potencialmente levando à redundância de dados). Portanto, em tais casos, tomamos cuidado para evitar a incorporação redundante de variáveis já representadas nesses índices. Trabalhamos com 15 fatores (variáveis) diferentes distribuídos nas dimensões ambiental (10), econômica (5) e social (2) Tabela 1.

Tabela 1 - Critério e fatores utilizados na análise multicritério

Critério	Fator	Racional para seleção do fator
Ambientais		Variável relacionada à aptidão do solo para a agricultura e regeneração natural, principalmente devido à sua relação com a capacidade de mecanização e os custos das práticas agrícolas. A declividade também está relacionada ao Código Florestal, que estabelece proteção integral para áreas com declives superiores a 45 graus e topos de montanhas, além de uso restrito para encostas com inclinação entre 25 e 45 graus.
	Relevo	
	Comprimento da estação seca	Relacionado à aptidão local para a agricultura e à velocidade e viabilidade da regeneração natural, que pode ser um fator determinante para estratégias e definição de técnicas de restauração florestal e de produção agrícola
	Erodibilidade	Relacionada à aptidão do solo para culturas agrícolas, com a viabilidade da regeneração natural e com o estabelecimento de vegetação para estabilizar os processos erosivos.
	Uso do solo	Fator de suma importância para a exclusão de recomendação de áreas com cobertura florestal existente (máscara) e áreas com reconhecida aptidão agrícola para produção de alimentos, evitando a competição entre áreas de restauração e áreas essenciais para a segurança alimentar e outros interesses sociais.
	Distância para ecossistemas naturais estabilizados	Relacionado à probabilidade de regeneração natural devido à fonte de propágulos e ecossistema de referência (TOMA et al., 2023).

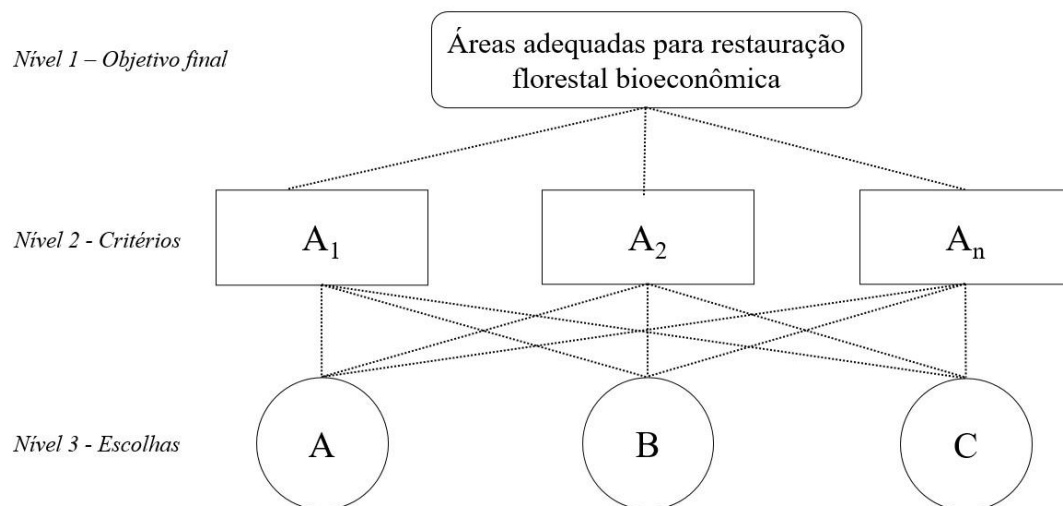
	Distância para corpos hídricos	Relaciona-se à probabilidade de regeneração natural devido à propagação de espécies por hidrocoria e às condições ideais para o desenvolvimento das plantas. Também está relacionada a requisitos legais, visto que as matas ciliares são áreas de proteção integral pelo Código Florestal Brasileiro.
	Áreas protegidas	Máscara. São áreas já protegidas por lei, que já possuem vegetação natural, mas que podem ser restauradas ou conservadas e que servem como ecossistemas de referência.
	Áreas prioritárias para conectividade da paisagem	Integração de múltiplos fatores necessários para uma restauração bem-sucedida, incluindo um amplo espectro de flora e fauna.
Econômicos		Esse fator se relaciona ao acesso ao mercado por meio de transporte e aspectos logísticos aos centros de consumo e à distância para mão de obra e insumos.
	Distância para cidades	
	Distância para Viveiros	Custos logísticos de produção e obtenção de mudas
	Renda do município	O poder de compra de uma localização e sua distância da área produtiva
	Número de pessoas por município	Demanda por produtos florestais e sua distância da área
	Preço da terra	Relaciona-se com o custo-benefício na implementação de projetos de restauração florestal

Social	Índice de vulnerabilidade social	Resiliência socioecológica e sua ligação com o uso da terra e oportunidades de iniciativas de restauração florestal em melhorar índices sociais
	Índice de desenvolvimento humano	Resiliência socioecológica e sua ligação com o uso da terra e oportunidades de iniciativas de restauração florestal em melhorar índices sociais

2.3. A ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

O método utilizado integra a MCE (do inglês *Multi Criteria Evaluation*) ao SIG como ferramenta de apoio à construção de um modelo espacial para localizar as áreas mais adequadas para projetos de restauração florestal bioeconômicos. Para tanto, foi utilizado o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) de Saaty (1980). Ele consiste no desenvolvimento da estrutura de um problema multicritério; um modelo que contém três níveis: objetivos, critérios e escolhas (Figura 2).

Figura 2 - Representação do processo de análise hierárquica de Saaty (Analytic Hierarchy Process (AHP)).



O primeiro passo do método AHP é a estrutura do problema de decisão em uma hierarquia. Uma hierarquia típica deste método representa um objetivo geral do processo de tomada de decisão (objetivo) no nível superior, os critérios que afetam a decisão em um nível intermediário e as opções de decisão (alternativas) no nível inferior. O segundo passo é a comparação entre pares de critérios (JAIMES *et al.*, 2012). Assim, juntamente com o critério, medimos a importância relativa deles por meio do método AHP, no qual os fatores ambientais, econômicos e sociais para cada meta de restauração florestal foram comparados dois a dois, no contexto do processo de tomada de decisão.

O método AHP é baseado em uma matriz quadrada ($n \times n$), onde as linhas e colunas correspondem aos n critérios analisados para esta questão. Assim, o valor a_{ij} é a importância relativa do fator na linha i , dado o indicador na coluna j . Considerando que esta matriz é recíproca, apenas a metade triangular inferior precisa ser avaliada, visto que a outra metade provém desta, e a diagonal principal assume valores iguais a 1 (SAATY, 1987). Os indicadores são comparados arbitrariamente a partir de uma escala de valores de 1 a 9, definida por Saaty, sendo o valor 1 o valor que representa igual importância (quando dois critérios contribuem igualmente) e 9 o valor que representa a máxima importância, quando as evidências que diferem os critérios são da mais alta ordem possível.

2.4. ATRIBUIÇÃO DE PESOS PARA INTEGRAÇÃO DE DADOS

O mapa de adequação de áreas à restauração florestal bioeconômica resultou da integração de diversos critérios e fatores definidos para esta meta de restauração florestal. Os critérios são considerados para definir fatores e restrições (que definem áreas proibidas). Tais fatores foram ponderados com base na consultoria de especialistas do setor acadêmico, Organizações Não Governamentais, além de técnicos e tomadores de decisão das Secretarias Estaduais de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, Saúde Pública e Agricultura) e de outros especialistas renomados de instituições governamentais, de pesquisa e de universidades que validaram os critérios e os pesos fatoriais com seus pareceres.

2.5. PROCESSAMENTO DE DADOS

Uma vez estabelecidos os critérios, foram realizadas comparações entre pares dos elementos. Para superar o desafio de chegar a um consenso natural e evitar o uso apenas das respostas mais frequentes, uma matriz de comparação pareada de cada resposta individual foi agregada pela abordagem da média geométrica. A média geométrica é a única maneira de combinar julgamentos controversos e preservar a propriedade recíproca da matriz (SAATY, 1987). Isso significa que, se você combinar os julgamentos de várias pessoas usando a média geométrica, o resultado ainda manterá essa importante consistência matemática.

Como os dados têm unidades e valores diferentes, os fatores a serem avaliados devem ser padronizados para executar o modelo. Os valores de cada fator (camada) foram transformados para a mesma unidade de medida usando a função sigmoideal *fuzzy* e comparação de matrizes pareadas (para a camada de uso e cobertura do solo), onde foi usada a função sigmoide para a normalização dos valores para uma escala de zero a um, tornando-os comparáveis e matematicamente compatíveis. A combinação dos resultados parciais dos critérios e dos pesos dos fatores produz um valor global para o último nível da hierarquia, que foi calculado e aplicado a cada fator. Este processo permite atribuir valores numéricos aos fatores individuais, tornando possível mensurar como cada elemento da hierarquia contribui para determinar o valor do pixel final de 30 x 30 m, nomeadamente índice de adequabilidade. Tendo construído e avaliado as hierarquias sob esta lógica, o cálculo do nível de adequação foi feito usando uma Combinação Linear Ponderada (do inglês Weighted linear combination (WLC)), reconhecidamente um dos métodos mais utilizados em MCE. O nível de adequação de cada escolha foi obtido usando a seguinte equação:

Equação 1

$$r_i = \sum w_j x_{ij}$$

Onde:

r_i é o nível de adequação da alternativa i

w_i é o peso do critério j

x_{ij} é o valor ponderado da alternativa i no critério j .

Os critérios ambientais, econômicos e sociais que foram considerados zonas ótimas para cada meta de restauração florestal contêm valores que podem ser fatores e restrições simultaneamente. As restrições foram convertidas em mapas com dois valores possíveis, 1 corresponde a um local prospectivo para desenvolver a atividade, e 0 indica zonas excluídas da análise (áreas proibidas) para evitar a indicação de implementação de restauração florestal em estradas, em áreas já florestais ou protegidas/conservadas por lei, cidades e suas áreas urbanas, na rede hidrográfica e em áreas agrícolas importantes para a segurança alimentar (ou seja, as áreas com alta aptidão agrícola). Uma vez obtidos os mapas de aptidão, as áreas mais adequadas para cada plantação florestal foram delineadas usando o método de classificação do quartil, que enfatiza a posição relativa dos valores do nível de aptidão na camada final calculada.

2.6. O MAPA DE ADEQUABILIDADE

Por fim, visando fornecer subsídios sólidos para políticas públicas na definição de estratégias para promover a restauração florestal em diferentes contextos, identificamos áreas com diferentes níveis de adequabilidade para receber a restauração florestal produtiva e dirigida por objetivos meramente ecológicos por meio do cruzamento de todos os fatores, ponderados pelos pesos de cada critério. Com o mapa criado, utilizamos uma abordagem conservadora cruzando as áreas com alto índice de adequabilidade com a camada desenvolvida pelo MapBiomas sobre pastagem de baixa aptidão (pastagem degradada — consideramos a degradação severa e a degradação moderada). Com base nisso, foi construído o mapa final em formato de *heatmap*, que destaca as regiões com maior concentração de pixels de alta adequabilidade. Este mapa serve como uma ferramenta estratégica para escalar as ações de restauração e subsidiar o governo na tomada de decisão para políticas de recuperação ambiental.

3. INDO ALÉM DO ONDE, TRABALHANDO A DIMENSÃO DO “COMO” A PARTIR DA IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIALIDADES LOCAIS.

O mapa de adequabilidade transcende a mera representação espacial, servindo como uma ferramenta estratégica para o planejamento de ações concretas em restauração florestal multifuncional. A partir dele, é possível identificar sinergias com iniciativas já consolidadas no estado de São Paulo, como o programa ReflorestaSP (<https://semil.sp.gov.br/sma/programa-refloresta-sp/>). O banco de dados deste programa oferece um suporte técnico robusto, disponibilizando informações sobre espécies recomendadas, incluindo coeficientes técnicos essenciais como espaçamento de plantio, custos de manejo e projeções de fluxo de caixa baseadas no preço de venda de produtos florestais, permitindo assim uma avaliação prévia da viabilidade econômica dos projetos. Integrando então o mapa de adequabilidade, com identificação de regiões mais aptas, é possível usar o programa do governo para definição de estratégias políticas de incentivo ao setor florestal que determinada região tem como aptidão. Esta etapa do trabalho ilustra o desdobramento do mapa de adequabilidade e parte dos dados está publicada. **Aqui apresentamos análises não publicadas em meio de grande circulação, conforme previsto no edital.**

Adicionalmente, a partir do mapa, selecionamos uma região com notável potencial de adequabilidade para um estudo de caso. Nesta área, utilizando dados de inventários florestais de projetos parceiros, com os quais identificamos as espécies nativas com alto potencial de uso. A prospecção foi realizada por meio de uma abordagem dual: (1) uma revisão sistemática da literatura, para consolidar o conhecimento científico sobre os usos e propriedades das espécies; e (2) uma busca por patentes associadas a essas espécies, sinalizando aplicações tecnológicas e potencial bioeconômico já explorado ou em desenvolvimento. Com o levantamento da literatura sobre potenciais de uso, identificamos os mercados mais promissores e com a busca por patentes tentamos detectar o interesse mercadológico acerca de uma determinada espécie ou produto proveniente desta.

3.1. IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS BIOECONÔMICOS DE NOVAS FLORESTAS

A identificação de potenciais bioeconômicos foi realizada para um recorte da área de estudo, que se destacou nos mapas de adequabilidade e por seu contexto geográfico e histórico. A Área selecionada foi o Vale do Paraíba do Sul, São Paulo, sudeste do Brasil (temperatura média de 22°C; precipitação anual de 1.400-1.800 mm), um ecótono de Mata Atlântica subtropical com invernos secos (Cwa) (ALVARES et al., 2013), entre florestas tropicais, florestas estacionais secas e savanas, com predominância de Latossolos (DEVIDE, 2014) e relevo acidentado (550 a 1010 m de altitude e declividade de 20-45%) (EMBRAPA, 1979).

Historicamente desmatada para plantações de café e cana-de-açúcar nos séculos XIX e XX (DEVIDE, 2014), a paisagem transitou para pastagens para a pecuária e, mais recentemente, para plantações comerciais de eucalipto para fornecimento de madeira para as indústrias de celulose e papel (SILVA et al., 2016, 2017). Proprietários de terras estabeleceram plantios de restauração para cumprir as leis ambientais e atender aos requisitos de mercado para certificação.

A área tornou-se uma região focal para a restauração da Mata Atlântica devido às políticas ambientais adotadas após a promulgação da Constituição Federal Brasileira de 1988 e à topografia montanhosa da região, inadequada para agricultura intensiva (SILVA et al., 2016). Além disso, 21 áreas protegidas designadas pelo governo federal (12 para uso sustentável e 9 para proteção integral) agora cobrem aproximadamente 39% da área do Vale, limitando legalmente o desmatamento e o manejo comercial dos remanescentes (BRASIL, 2000). A Lei de Proteção da Vegetação Nativa exige que os proprietários de terras — na região, em sua maioria, são pequenos produtores rurais e comunidades tradicionais locais (IBGE, 2017)— conservem 20% da vegetação nativa por meio de Reservas Legais (RL) e mantenham ou restaurem Áreas de Preservação Permanente (APPs), especialmente ao longo de corpos d'água, para proteger os recursos hídricos e prevenir a erosão do solo (BRASIL, 2012). Além disso, a Lei de Proteção à Mata Atlântica proíbe o desmatamento de áreas em estágios avançados de regeneração fora dos limites de RL e APPs (RESENDE et al., 2024).

Nos últimos 60 anos, a cobertura florestal na bacia aumentou de 200.000 para 450.000 hectares, o que equivale a 30% do território, principalmente por meio de processos de regeneração natural (SAPUCCI et al., 2021). Uma grande iniciativa chamada Conexão Mata Atlântica transformou recentemente essa região. Financiada pelo Fundo Mundial para o Meio Ambiente, pelos governos federal e estadual e outros parceiros, a iniciativa visa reflorestar essa região por diversos motivos, incluindo o fornecimento de água para grandes áreas metropolitanas em São Paulo e no Rio de Janeiro. Consequentemente, a cobertura florestal no Vale do Rio Paraíba do Sul é agora uma mistura complexa de tipos de floresta — um mosaico de monoculturas comerciais de eucalipto, florestas nativas secundárias, plantações de restauração e remanescentes florestais — refletindo a história dinâmica do uso da terra e da conservação na região.

Nessa região, utilizando dados de inventários florestais (projeto parceiro – nome não divulgado em atendimento ao edital do prêmio), levantamos as espécies arbóreas nativas presentes nas novas florestas (florestas que passaram a ser detectadas depois de 1985 pelo monitoramento do satélite *Landsat*). Avaliamos o potencial bioeconômico de 283 espécies arbóreas nativas encontradas em nosso inventário florestal por meio de buscas em artigos revisados por pares na plataforma *Web of Science* (WoS). Utilizamos um conjunto de *strings* de busca para levantar informações sobre cada espécie. Cada busca foi realizada aplicando-se a seguinte consulta ao "campo de TOPIC": (o nome científico binomial da espécie em latim) AND (*properties** OR *compound** OR *utility** OR *product** OR *application** OR *drug** OR *pharmaceutical** OR *cosmetic** OR *food** OR *biotechnology*). Encontramos literatura para 167 das 283 espécies nativas (59%), para as quais selecionamos até cinco referências bibliográficas para cada espécie (ou seja, estudos primários descrevendo seu uso potencial). Utilizamos dois indicadores bibliométricos fundamentais relacionados à qualidade da pesquisa para selecionar as referências: um maior número de citações e o fator de impacto do periódico (ROMANELLI et al., 2021). Nos concentramos em aspectos relacionados ao valor científico (ou seja, a importância dos resultados para outras pesquisas) selecionando esses critérios. A frequência com que um artigo é citado pode refletir o impacto científico e a relevância, apesar de suas reconhecidas limitações na indicação da qualidade da pesquisa. O fator de impacto (FI) é uma métrica que fornece informações sobre a

classificação científica (ROMANELLI et al. 2021) e o prestígio do periódico — quanto maior, melhor, refletindo, frequentemente, a qualidade geral da pesquisa e o interesse.

3.2. CLASSIFICAÇÃO DOS ESTUDOS LEVANTADOS EM ÁREAS DO CONHECIMENTO ORIENTADAS AO MERCADO

Após formação de uma base com os potenciais de uso de espécies relatados pela literatura científica, classificamos a fase de estudo que cada artigo individual se contextualiza, dentro de uma estrutura orientada para o mercado, em uma das sete categorias criadas (e encontradas nos mesmos) a fim de compreender as contribuições para a tomada de decisões de mercado e sua proximidade com a potencial aplicação prática do conhecimento. Essas categorias estão resumidas na Tabela 2 e incluem etapas que vão desde a pesquisa inicial em laboratório até contextos de mercado aplicados e práticas de manejo florestal. Utilizando a lista de espécies com potencial, criamos um banco de dados para comparar o potencial de diferentes tipos de floresta para o manejo bioeconômico.

Tabela 2 - Descrição das sete fases orientadas para o mercado utilizadas para classificar os estudos de acordo com sua contribuição para a tomada de decisão e potencial de aplicação.

Fase	Nome da fase	Descrição
1	<i>In vitro</i>	Experimentos conduzidos fora de um organismo vivo em um laboratório controlado.
2	<i>In vivo</i>	Experimentos conduzidos em um organismo vivo.
3	Química analítica	Os estudos se concentraram em identificar, quantificar e descrever a composição das substâncias.
4	Fase pré-clínica	Estudos que avaliam a segurança e eficácia de possíveis tratamentos médicos antes de ensaios clínicos.
5	Fase clínica	Estudos que avaliam a segurança, eficácia e efeitos colaterais de tratamentos, medicamentos, terapias ou intervenções em humanos.
6	Fase do produto	Pesquisa que avalia o desempenho de mercado, a satisfação do consumidor, a qualidade ou a eficácia de um produto.
7	Fase de práticas silviculturais	Estudos focados em fatores de produção relacionados ao uso e manejo de espécies arbóreas (por exemplo, processamento de sementes, produção de mudas, manejo de plantações).

3.3. LEVANTAMENTO DE PATENTES EXISTENTES

Pesquisamos a plataforma do Escritório Europeu de Patentes (EPO) para listar as espécies amostradas com patentes registradas, identificar a localização das patentes e calcular a soma total de patentes em cada país por espécie e a proporção de espécies com potencial relatado que também possuem patentes em todo o mundo. Pesquisamos as patentes registradas para mensurar o interesse do mercado, visto que as patentes são frequentemente associadas a produtos destinados à comercialização (SANTOS et al., 2023). Na plataforma do EPO, buscamos nomes de espécies com potencial relatado na literatura usando o gênero e o epíteto específico. As patentes foram registradas em países individuais e organizações globais e regionais (Organização Mundial da Propriedade Intelectual [OMPI], Organização Europeia de Patentes [EPO] e Organização Eurasiática de Patentes [EAPO]). O potencial para múltiplos registros de patentes não diminui o mérito de uma análise usando a soma total de publicações de patentes por país ou organização. A duplicação de uma patente individual

também pode ocorrer quando uma patente separada é publicada para cada espécie incluída em uma formulação ou composição química.

3.4.CLASSIFICANDO ESPÉCIES NATIVAS POR SEU POTENCIAL BIOECONÔMICO

Destacamos as espécies de destaque por meio do levantamento daquelas com maior número de estudos, patentes e maior abundância nas florestas amostradas.

4. RESULTADOS

4.1. AVALIAÇÃO DOS FATORES DE ADEQUAÇÃO PARA MAPEAMENTO

No caso da restauração florestal puramente ecológica, os aspectos ambientais são os mais importantes, seguidos pelos fatores econômicos e sociais. No caso da restauração florestal produtiva multifuncional, os critérios mais importantes são os econômicos, portanto, buscou-se maximizar o benefício econômico sem desconsiderar os critérios ambientais e sociais dessa atividade (0,35 e 0,15, respectivamente). Os pesos finais para cada um dos fatores da segunda categoria são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Ponderação dos critérios de acordo com o objetivo da restauração florestal.

Critério	Ponderação de acordo com o objetivo	
	Restauração multifuncional	Restauração puramente ecológica
Ambiental	0,35	0,72
Economico	0,50	0,17
Social	0,15	0,11
Total	1	1

Na Tabela 4, são apresentados os pesos finais para cada um dos fatores específicos de cada categoria.

Tabela 4. Valores consolidados após o processo de ponderação para cada fator.

Fatores	Objetivo da restauração			
	Restauração multifuncional		Restauração puramente ecológica	
	<i>Peso</i>	<i>Ponderação final</i>	<i>Peso</i>	<i>Ponderação final</i>
<i>Ambiental</i>				
Relevo	0,10	0,04	0,10	0,08
Comprimento da estação saca	0,10	0,05	0,08	0,06
Erodibilidade	0,09	0,05	0,10	0,08
Uso do solo	0,11	0,05	0,12	0,10
Distância para ecossistemas estabelecidos	0,09	0,05	0,10	0,08
Distância para corpos de água	0,09	0,05	0,12	0,10
Áreas naturais perotelegidas	0,09	0,04	0,13	0,10
Áreas prioritárias para conectividade	0,13	0,05	0,15	0,11
Total	1	0,35	1	0,72
<i>Econômico</i>				

Distância para cidades	0,21	0,11	0,19	0,03
Distance para viveiros	0,20	0,10	0,18	0,03
Renda do município	0,20	0,10	0,18	0,03
Pessoas por município	0,15	0,08	0,16	0,03
Preço da terra	0,12	0,12	0,29	0,05
Total	1	0,50	1	0,17
<i>Social</i>				
Índice de vulnerabilidade humana	0,58	0,085	0,5	0,06
Índice de desenvolvimento humano	0,42	0,066	0,5	0,06
Total	1	0,15	1	0,11

4.1.1 MAPAS DE ADEQUABILIDADE PARA CADA META DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL.

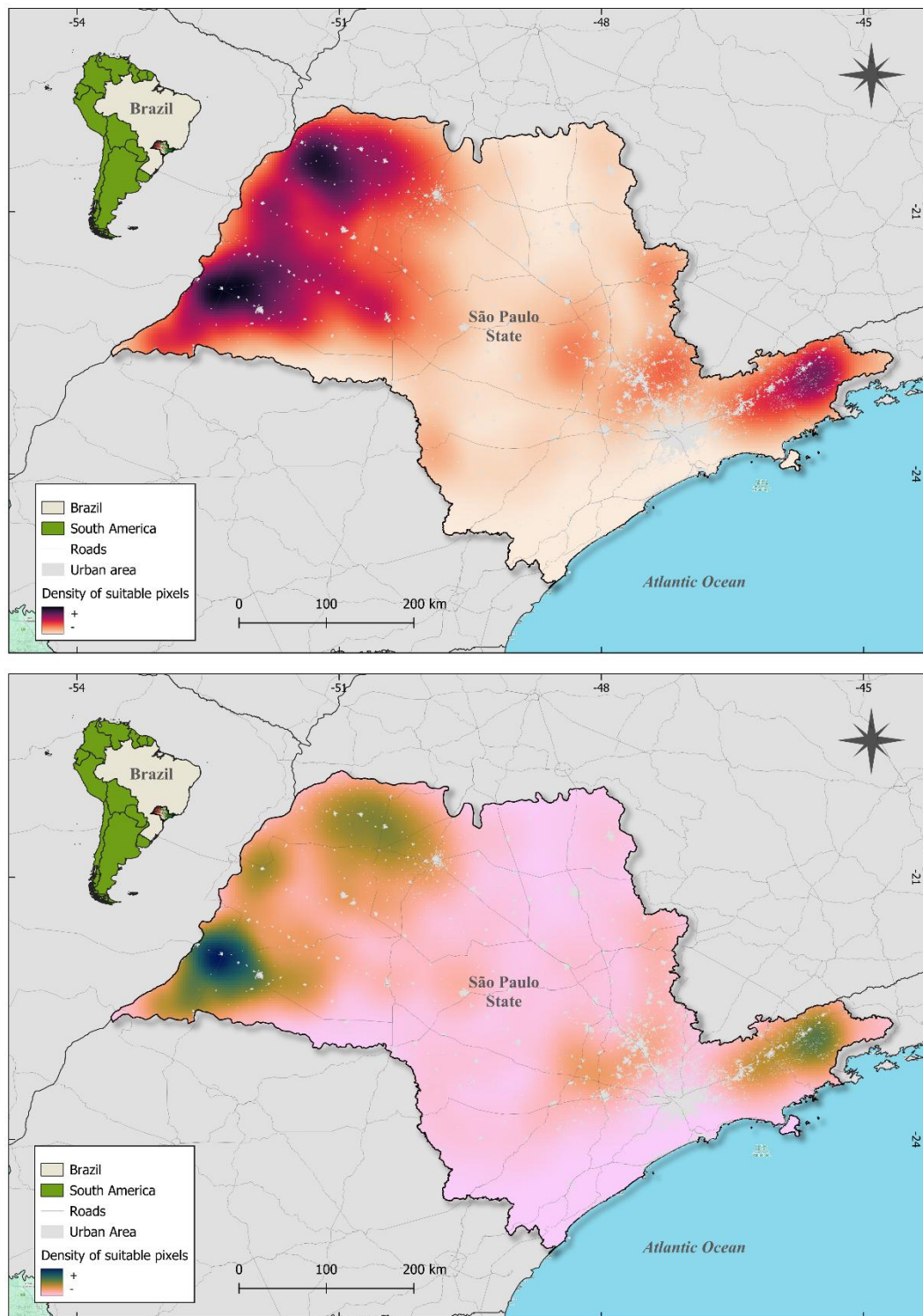
A Tabela 5 mostra a extensão do território, com áreas adequadas (pixel a pixel) para restauração florestal multifuncional ou objetivos puramente ecológicos. É importante notar a diferença na proporção da extensão total entre áreas com alta adequabilidade para receber restauração florestal puramente ecológica (~25% da área total) e restauração florestal multifuncional (1,64%). Para melhor atingir as metas governamentais, exploramos aqui áreas com os maiores níveis de adequabilidade (quartil superior).

Tabela 5 - Extensão total e proporção de áreas altamente adequadas para os dois objetivos de restauração.

Descrição da área	Objetivo da restauração (ha)		Proporção sobreposta ao pasto degradado (%)
	Multifuncional produtiva	Orientada por objetivos ecológicos	
Área total	3.393.447,9	3.393.542,0	100%
Área com alta adequabilidade	55.798,78	848.384,4	1,64 24,99

A área total de pastagens degradadas no Estado de São Paulo é de 3.588.048,9 hectares. Os mapas finais, utilizando avaliação multicritério acoplada a SIG, para restauração florestal puramente ecológica e restauração florestal multifuncional, são apresentados na Figura 3a e na Figura 3b.

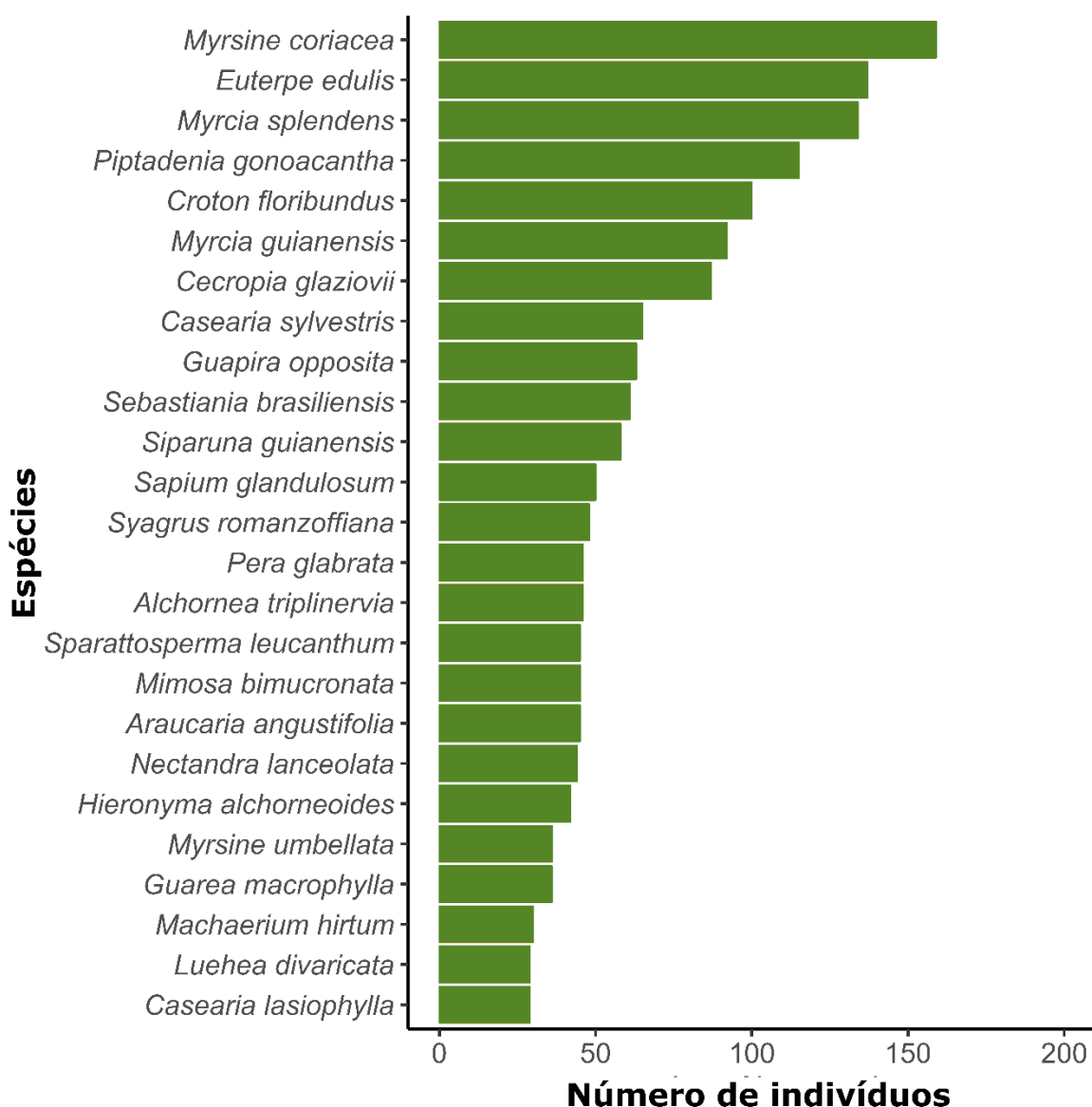
Figura 3 - Mapa de adequação com níveis de adequação para restauração florestal puramente ecológica (acima - a) e restauração florestal multifuncional (abaixo - b).



4.2. POTENCIAIS BIOECONÔMICOS DA REGIÃO DO VALE DO PARAÍBA

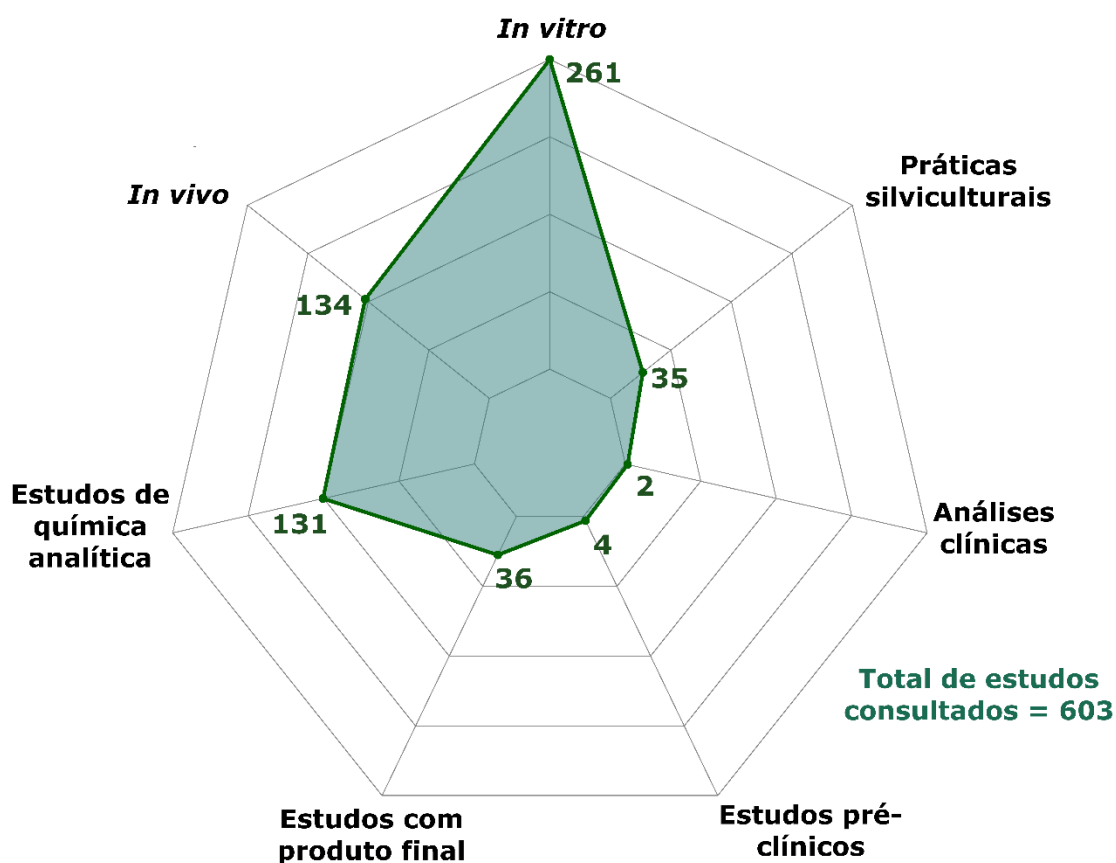
Encontramos 603 artigos revisados por pares relatando o potencial bioeconômico de 167 espécies nativas (59% do total das espécies nativas). *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Steud. (Gimnosperma) foi a mais estudada (246 artigos), seguida por duas espécies de palmeira, *Euterpe edulis* Mart (205 artigos) e *Baccharis dracunculifolia* DC (188 artigos). *Myrsine coriacea*, *Euterpe edulis* e *Myrcia splendens* (Sw.) DC. foram as mais abundantes no campo (Figura 4).

Figura 4 - Top-25 espécies nativas mais abundantes com potencial encontrado na literatura.



Na base de dados montada com dados da literatura, encontramos uma distribuição desigual entre as fases orientadas para o mercado: 47% pesquisa *in vitro*, 22,2% *in vivo*, 21,7% química analítica, 13,0% pré-clínica, 4,3% clínica e 6,1% fase de produto. Apenas 35 estudos (5,8%) abordaram informações sobre práticas silviculturais ou manejo de plantas. A proporção detalhada das fases de estudo em nosso conjunto de dados é mostrada na Figura 5.

Figura 5 - Distribuição de estudos conforme área do conhecimento orientada ao mercado.



Encontramos um total de 2520 patentes registradas. As patentes relataram usos medicinais com maior frequência, incluindo cicatrização de feridas, antiúlcera, antidiabético, analgésico, anti-inflamatório e aplicações no tratamento do câncer. As patentes de cosméticos focaram em efeitos antienvelhecimento, proteção da pele e antioxidantes (Tabela 6). Outras patentes abordaram aplicações antivirais, antifúngicas, antibióticas e agrícolas, incluindo

efeitos larvicidas de insetos, herbicidas e fertilizantes. Entre as espécies com maior número de patentes registradas, a espécie de palmeira *Syagrus romanzoffiana* foi a que apresentou o maior número, com 387 registros, seguida por *Genipa americana* (361) e *Hymenaea courbaril* (254) (Figura 6).

Tabela 6 - Descrição das patentes relacionadas com cada uma das 25 espécies com maior número de patentes encontradas.

<i>Espécie</i>	<i>Número de patentes encontradas</i>	<i>Segmento de mercado / aplicações</i>	<i>Usos/ produtos</i>
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	387	Fitossanitário cuidados com a lavoura; farmacêutico	Produção de mudas; uso como composição fitossanitária; Ingrediente utilizado na formulação para inibir ou prevenir o desenvolvimento de uma doença patogênica da planta; antiobesidade
<i>Genipa americana</i> L.	361	Farmacêutico; Bioprocesso; Cosméticos	Composição cosmética para a pele, prevenindo e melhorando a cromatose pela melanogênese suprimindo a ação e tendo alta segurança e utilizada no tratamento de cabelos, tingimento de cabelos e composição de maquiagem; matéria-prima em corantes e corantes naturais; matéria-prima para papel de embrulho de alimentos à base de plantas; atividade antileucemia em camundongos; ingrediente na formulação de tinta; atividade antioxidante; pigmento em composições de cores e tatuagens; agente carcinostático (inibe o crescimento ou reprodução celular); medicamento para hiperlipidemia de baixa toxicidade
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	254	Cosméticos; Alimento; Construção; Manufatura	Composição cosmética; senescência celular; produtos de higiene pessoal; fonte de polissacarídeos; adesivo natural tissular; inibidor da enzima conversora de angiotensina e alimento anti-hipertensivo; um processo para acelerar o envelhecimento e o escurecimento de produtos de madeira tropical marrom-avermelhada, composição

de crescimento de cabelo; inibidor da collagenase; inibidor da testosterona-5alfa-redutase; construção de tábuas de deck de madeira ao ar livre; Aumentos de clipe de palheta para instrumentos

<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	222	Farmacêutica; Cosméticos; Biocidas	Efeitos na preparação para cuidados com os cabelos e limpeza que afeta o crescimento do cabelo (xampu); inibidor dos efeitos na produção de peróxido lipídico e com alta segurança ao incluir o extrato; cosmético à base de goma vegetal; composições biocidas antimicrobianas usadas em medicina humana ou veterinária, biocidas, antissépticos ou desinfetantes; composição do agente de crescimento de cabelo sem irritação da pele; cabelos grisalhos - prevenindo e melhorando a composição do produto; usado na composição do agente de perda de peso; Utilizado em diversas composições de produtos com ingredientes bioativos
<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	197	Farmacêutico; Biocidas; Cosméticos; Reflorestamento	Usado na terapia do câncer de mama; ingrediente em composições anti-inflamatórias e analgésicas; ingrediente da espirulina chinesa e da medicina tradicional; composição para o tratamento de herpes e herpes labial; ingrediente no creme facial reparador e protetor da pele; ingrediente anti-irritante natural da pele; usado como bioinseticida e repelente na agricultura e na prevenção e controle de pragas de grãos armazenados; estabilizador de resistência à corrosão; usado como espécie na restauração ecológica
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	152	Farmacêutico; Cosméticos; Alimento; Construção; Manufatura	Composição para agentes de regeneração da pele, cicatrização de feridas e aumento da pele para mamíferos; composição de proteção da pele à base de extrato de grãos; agente antimicrobiano de resina; ingrediente em composição cosmética e/ou dermatológica tópica, útil para proteger a pele e

combater o efeito climático e ambiental; uso de madeira para diversos produtos de madeira, incluindo armações anatômicas de cama; diversos extratos com bioatividade da resina; extração de fenólicos de cascas; utilizado em formulações repelentes tópicas para buffies (simulídeos) com proteção contra os raios solares UV; usado em formulações de agentes gelificantes para meios de cultivo de tecidos vegetais superiores in vitro; matéria-prima (madeira) para instrumentos musicais; elemento de construção; salgadinhos comestíveis

Óleo essencial utilizado em formulações cosméticas e farmacêuticas; uso de extratos como produto desinfetante, antiséptico e/ou desinfetante para controle microbiológico; uso de extrato em composições farmacêuticas; espécies utilizadas em associação para melhorar a produção e as atividades de própolis (antioxidantes, antinociceptivos e outras aplicações de própolis); novo ingrediente ativo para inibir uma metaloproteínase da matriz (relacionado à remodelação e reparo tecidual, doenças inflamatórias, invasão e metástase do câncer, distúrbios neurológicos e doenças cardiovasculares); atividade anti-oncogênica; componentes hidrofílicos para produzir alimentos saudáveis, produtos farmacêuticos ou cosméticos capazes de incluir prontamente um ingrediente ativo

Produção de pilocarpina e seus diversos usos em medicina e cosméticos; usado para produzir tônico capilar, desodorizante e preparação da pele; usado como ingrediente de produtos de banho; diversos usos relacionados à atividade antibacteriana; composição oftálmica; composição para tratamento de dor e/ou inflamação; ingrediente em composições dietéticas e lubrificantes; formulação nutracêutica para consumo oral; Ingrediente na preparação da composição do óleo de cannabis

*Baccharis
dracunculifolia* DC.

142

Farmacêutico;
Cosméticos

Pilocarpus microphyllus
Stapf ex Wardl

135

Farmacêutico;
Cosméticos;
Alimento

<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	118	Cosméticos; Reflorestamento	Composição cosmética para melhorar as rugas; composição cosmética para promover o ciclo de queratina da pele; usado para construir florestas de paisagem e em um método de enxertia para produzir mudas
<i>Cedrela odorata</i> L.	109	Farmacêutico; Biocidas; Construção	Usado em uma composição para tratar, prevenir ou melhorar doenças causadas por fibrose tecidual; tratamento profilático da asma; ingrediente usado para promover a ativação do tecido periodontal; ingrediente na composição antimicrobiana; repelente de insetos e composição natural de pesticidas; tábua de deck de madeira ao ar livre
<i>Bauhinia forficata</i> Link	95	Farmacêutico; Cosméticos	Extrato para tratar síndrome metabólica e diabetes; usado em composições que têm efeitos hipoglicêmicos e de redução de peso; usado na composição do agente anticancerígeno; atividade antidiabética; utilizado na composição de agente preventivo/terapêutico para o tratamento da osteoporose; tratamento cosmético ou farmacêutico da pele e do cabelo devido ao seu efeito antioxidante; composição para redução de peso; composição de dentífrício; composição do agente antiviral
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	93	Farmacêutico; Medicina; Cosméticos	Composições cosméticas; senescência celular; atividade antibiótica, anti-inflamatória e cicatrizante; extratos bioativos para compor biocerâmica, enxertos ósseos bioativos e membranas; tratamento do envelhecimento cutâneo; tratamento de herpes labial; ação modulatória em distúrbios proliferativos celulares; uso na composição antimanchas; composição cosmética antirugas; Composições de gel para acelerar a cicatrização de feridas
<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	92	Farmacêutico; Cosméticos	Extrato utilizado para produzir composições cosméticas ou dermatológicas; extrato em uma composição cosmética para o cuidado da pele sensível; testado na prevenção da inflamação da pele

e fotoproteção da pele; ingrediente na composição farmacêutica antiverruga; produção de biocombustíveis; usado para produzir gel líquido desengordurante; Ingrediente para produzir produtos antifúngicos

Composições para reduzir a inflamação para melhorar ou manter a saúde mental ou física; agente para prevenir e melhorar os cabelos grisalhos; Repelente; tratamento de insumos para confecção de artesanato; propriedades citotóxicas seletivas em relação às linhagens de células cancerígenas humanas; parte do instrumento musical; produto de resina copaíba para produção de cosméticos e farmacêuticos; extrato vegetal para produzir produtos comestíveis utilizados como suplemento alimentar ou em aplicações medicinais, cosméticas, de bem-estar, nutracêuticas ou fitoterápicas; fonte de compostos para produção de lubrificantes, detergentes, dispersantes, fluidos funcionais, combustíveis e composições poliméricas

Composição farmacêutica para curar doenças relacionadas a atividade enzimática; agente antidermopático para suprimir ou melhorar lesões cutâneas; óleo essencial com várias propriedades antimicrobianas, antioxidantes, anti-inflamatórias, antiproliferativas e antimicobacterianas; tratamento ou profilaxia de uma infecção microbiana, fúngica ou de fungos em um animal

Controle de infestações por ácaros em plantas, insetos, fungos, ervas daninhas e nematoides

Matéria-prima para efeito desodorizante e inibidor ou redutor da transpiração; tratamento de infecções pelo vírus Zika; usado em composições com altas concentrações de componentes lipofílicos e altas

<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	74	Farmacêutico; Cosméticos; Manufatura
<i>Psidium guineense</i> Sw.	56	Farmacêutico; Cosmético
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	48	Bioinseticidas
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	48	Farmacêutico; Cosméticos

proporções de componentes lipofílicos para surfactantes

Extrato utilizado como método para a síntese verde de nanopartículas de prata; fonte de vitamina C; utilizado para a produção do *vinho de P. caimito*, utilizado na medicina tradicional; ingrediente utilizado para a produção de uma composição para controle do nível de glicose no sangue; utilizado no método de enraizamento e criação de mudas de estaca; método para melhorar a taxa de sobrevivência do enxerto de *P. caimito*; fonte de atividade antibacteriana; fonte de frutos popularmente conhecidos como "*Abiu*".

Fonte de inibidores de protease (importantes no tratamento de doenças), pesquisa de enzimas, controle da atividade de proteases que podem degradar proteínas em alimentos, indústria têxtil e outros); usado como inseticida devido à sua inibição da protease; Ingrediente com atividade de citotoxicidade

Biofármaco cicatrizante utilizado como "medicamento fitoterápico" com propriedades cicatrizantes e antibacterianas em feridas de pacientes diabéticos ou não diabéticos; usado na fabricação de tábuas de deck de madeira para exteriores

Propriedades antibacterianas e antifúngicas; usado para produzir parte de instrumentos musicais e pequenos objetos

Processo de obtenção da polpa de açaí em pó; *Método de fermentação do Asai* e produto de fermentação contendo a fermentação do Asai e uma aplicação do produto da fermentação do Açaí; composição dietética, útil para a produção de bebidas

Pouteria caimito (Ruiz & Pav.) Radlk.

45

Farmacêutico;
Cosméticos;
reflorestamento;
Alimento

Enterolobium contortisiliquum (Vell.)

Morong

44

Farmacêutico;
Biocidas

Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan

36

Farmacêutico;
Construção;
Manufatura

Dalbergia nigra (Vell.)
Allemão ex Benth.

40

Farmacêutico;
Manufatura

Euterpe edulis Mart.

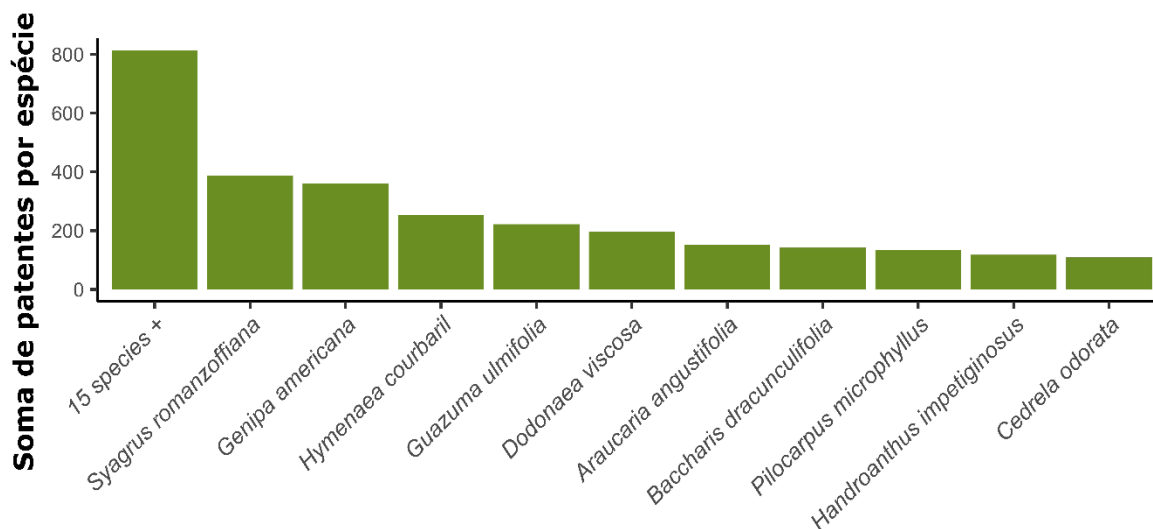
38

Alimento;
Cosméticos;
Medicina

			energéticas esportivas; uso na inibição da angiogênese e/ou redução da vermelhidão não inflamatória na pele pela administração tópica; aplicação de açaí ou seu extrato em alimentos ou produtos de saúde para resistir à melanogênese.
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	36	Farmacêutico; Cosméticos	Composição redutora de colesterol; extrato usado em um inibidor da lipase; ingrediente de essência extraído de uma folha, com atividade de inibição da aldose redutase e útil para a profilaxia ou tratamento de complicações como retinopatia causada por diabetes; ingrediente para preparação de cuidados com o cabelo e a pele; composição clareadora da pele; composição redutora de colesterol.
<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr.	34	Fitossanitário; Cuidados com as culturas	Os procedimentos para liberar e controlar ácaros que são predadores naturais de outros ácaros representam um risco para a agricultura, pois são pragas comuns em várias culturas agrícolas.
<i>Randia armata</i> (Sw.) DC.	29	Cosméticos	Propriedades antirradicais e antienvelhecimento; composições nutracêuticas tópicas com efeitos de perda de peso; propriedades de clareamento da pele; composições de protetores solares; composições de cuidados com os cabelos, como xampu, condicionador, loção capilar, óleo capilar, gel capilar, brilho capilar, enxágue capilar, bálsamo capilar, etc.
<i>Croton urucurana</i> Baill.	28	Farmacêutico	Tratamento antiviral de invertebrados ou vertebrados, incluindo humanos, infectados com <i>Poxviridae</i> ou <i>Papillomaviridae</i> ; uso em um método para tratar vômitos e coceira; composição e método de tratamento para a família de infecções <i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i> e <i>Enterococcus faecalis</i> e seus sintomas associados; atividades anti-inflamatórias e antibacterianas

<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	28	Cosmético	Extratos vegetais para produção de cosméticos; clareamento da pele e propriedades de proteção UV; Antioxidante extracelular, composição neutralizante de radicais livres; antioxidante intracelular e composição de reforço de colágeno ou fibrina
<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C. Burger	27	Farmacêutico	Composições e métodos para a saúde óssea, degradação da cartilagem ou ambos usando extratos capazes de modular a inflamação, dor e rigidez articular, ou melhorar a mobilidade, amplitude de movimento, flexibilidade e função física articular; usado em composições e métodos para gerenciar o peso
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. var. <i>ferrea</i> .	20	Cosméticos	Formulações para preparar composições cosméticas para o tratamento da pele, cabelo e/ou couro cabeludo.
<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	20	Farmacêutico	Extratos utilizados na preparação de formulações farmacêuticas e medicamentos utilizados na prevenção e tratamento da insuficiência cardíaca; Composição farmacêutica para regeneração de mio fibras no tratamento de lesões musculares

Figura 6 - Soma de patentes por espécie amostrada na região do Vale do Paraíba do Sul.



5. DISCUSSÃO

Tornar a restauração florestal economicamente viável e lucrativa para a população local poderia ajudar a melhorar sua equidade e eficácia (BRANCALION et al., 2012), ao mesmo tempo em que agilizaria sua expansão para atingir metas globais. No entanto, apesar da discussão em torno do valor monetário da biodiversidade para o fornecimento de bens e serviços, a restauração florestal ainda é percebida como economicamente não competitiva (FAGAN et al., 2020). Sua expansão é frequentemente limitada pela percepção de ser um uso da terra economicamente não competitivo, dificultado por barreiras financeiras como os custos de oportunidade da terra e o retorno tardio dos investimentos (KRAINOVIC et al., 2024). Para superar esses desafios, a integração de uma bioeconomia socialmente justa emerge como um caminho promissor, alinhando metas socioeconômicas e ambientais ao transformar florestas restauradas em paisagens multifuncionais. Nesse contexto, o conceito de bioeconomia (BUGGE et al. 2016), que vem ganhando destaque recentemente, apresenta uma via atraente para combinar esforços de restauração florestal com alternativas econômicas

viáveis decorrentes de produtos e serviços derivados da biodiversidade (GASPARINETTI et al., 2022).

A integração da restauração florestal tropical com a bioeconomia requer a construção de bases científicas e técnicas para o uso da vasta diversidade de espécies nativas tropicais. Até hoje, o uso industrial de algumas espécies exóticas, a exemplo do gênero *Eucalyptus*, atraiu a maior parte dos investimentos em todo o mundo. As plantações industriais de monoculturas estão entre as alternativas mais populares para obter lucro econômico com investimentos em reflorestamento, apesar de poderem resultar em perda de biodiversidade (PÖRTNER, et al., 2021), redução do armazenamento de carbono ao longo do tempo (HUA et al. 2022) e poderem contribuir para invasões de árvores exóticas. Do ponto de vista econômico, a ampliação de um modelo bioeconômico de restauração depende da demonstração de viabilidade financeira para atrair o engajamento de proprietários de terras e investidores. Isso requer o desenvolvimento de cadeias de valor para produtos de alto valor agregado, como madeira nativa, produtos florestais não madeireiros (PFNMs) e produtos biotecnológicos, que podem diversificar as fontes de receita e encurtar o tempo de retorno financeiro. A falta de conhecimento técnico e de mercados consolidados para espécies nativas, contudo, ainda representa um risco significativo.

No âmbito ambiental, a expansão deve priorizar o uso de espécies nativas para evitar a homogeneização da paisagem, um risco associado às monoculturas de espécies exóticas que podem resultar em perda de biodiversidade e redução de estoques de carbono ao longo do tempo (HUA et al., 2022; PÖRTNER, et al., 2021). A restauração deve focar na recuperação da diversidade genética, de espécies e de ecossistemas, garantindo a provisão de serviços ecossistêmicos intangíveis, como regulação hídrica, proteção do solo e polinização, que são vitais, mas raramente incluídos nas análises de custo-benefício. Além disso, é preciso gerenciar riscos como a sobre-exploração de recursos florestais para garantir a sustentabilidade ecológica a longo prazo. Nesse tipo de modelo, o ganho de escala deve garantir uma distribuição justa e equitativa dos benefícios, reconhecendo o conhecimento tradicional e envolvendo ativamente os povos indígenas e as comunidades locais. Ignorar essa dimensão acarreta riscos de concentração de capital, biopirataria e marginalização das comunidades que manejam a biodiversidade, minando os padrões éticos e a resiliência

socioecológica do modelo. Portanto, a conciliação bem-sucedida entre a restauração e a bioeconomia exige um esforço multidisciplinar e colaborativo que integre essas três dimensões de forma indissociável.

5.1. O MAPAS DE ADEQUABILIDADE

Para que a restauração florestal em larga escala seja viável, é fundamental melhorar sua atratividade e relação custo-benefício para os proprietários de terras, oferecendo uma finalidade econômica clara para as áreas recuperadas. Os mapas de adequabilidade desenvolvidos neste estudo são uma ferramenta estratégica para esse fim, pois identificam as áreas mais promissoras dentro das pastagens degradadas do Estado de São Paulo – áreas que poderiam ser priorizadas no cumprimento de metas de restauração –, que podem ter diferentes aptidões. A análise revela que as áreas com maior adequabilidade para a restauração, tanto ecológica quanto multifuncional, concentram-se em duas regiões emblemáticas: o Vale do Paraíba e o Pontal do Paranapanema. Essas regiões, que representam a primeira e a última fronteira agrícola do estado, respectivamente, são palcos de dinâmicas complexas de uso da terra, onde a restauração pode ser direcionada para pastagens com médio e alto nível de degradação, enquanto áreas com baixo nível de degradação poderia ser intensificadas para a produção de alimentos.

A alocação de terras para restauração é fortemente influenciada por fatores econômicos, com destaque para o preço da terra e a especulação fundiária. A lógica de especulação, que muitas vezes resulta em pastagens improdutivas mantidas apenas para valorização imobiliária, cria um cenário onde a restauração multifuncional pode se tornar uma alternativa de uso mais inteligente e rentável. Além do retorno direto, a restauração gera significativas externalidades positivas. Mesmo projetos com foco puramente ecológico promovem o desenvolvimento local, com criação de empregos e geração de renda. Notavelmente, o estudo aponta uma correlação entre áreas de baixa aptidão agrícola (alta declividade e erodibilidade) e baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH), sugerindo que a restauração nessas regiões não é apenas uma estratégia ambiental, mas também uma poderosa ferramenta de desenvolvimento socioeconômico para mitigar a degradação e promover a resiliência em comunidades vulneráveis.

Embora a metodologia de GIS-MCE seja robusta, os mapas de adequabilidade refletem um cenário estático e não capturam dinâmicas futuras que podem surgir com novas tecnologias e práticas de manejo. Por exemplo, o avanço da mecanização agrícola pode viabilizar sistemas produtivos em áreas de declive antes consideradas restritivas, alterando seu potencial para a restauração multifuncional. Da mesma forma, intervenções como a fertilização do solo podem diminuir o peso dos critérios ambientais em favor dos produtivos, embora impactem os custos. A análise também revela os *trade-offs* inerentes à valoração dos critérios por especialistas: para a restauração produtiva, a proximidade de cidades e mercados é vital; para a ecológica, a distância desses centros urbanos pode ser preferível para reduzir a pressão antrópica, evidenciando a complexidade do planejamento multifuncional.

A alta resolução dos mapas (30m) é uma vantagem crucial do presente estudo frente às análises globais, pois captura a heterogeneidade local e as dinâmicas de um ambiente altamente fragmentado, sendo essencial para o planejamento operacional. Essa precisão permite um alinhamento fino entre a ciência e as políticas públicas. Os resultados indicam que, embora quase toda a área de pastagem degradada seja apta a algum nível de restauração, apenas 1,64% apresenta alta adequabilidade para o modelo multifuncional, contra quase 25% para o modelo ecológico. Existem áreas que poderiam cumprir um duplo papel (ter aptidão alta para ambos), carecendo de priorização frente às diferentes demandas por restauração. Para atingir a meta de 1,5 milhão de hectares do Programa ReflorestaSP, será necessário aplicar um conjunto diversificado de técnicas e incentivos em áreas com diferentes níveis de adequabilidade. Os mapas, portanto, servem como uma ferramenta de apoio à decisão para detalhar programas de restauração, fomentar um mercado para seus produtos e promover uma competição justa, pavimentando o caminho para que os objetivos de restauração de São Paulo e do Brasil sejam alcançados de forma eficaz.

5.2. POTENCIAIS BIOECONÔMICOS E O DESDOBRAMENTO DE UM MAPA DE ADEQUABILIDADE

A análise apresentada se concentra em uma região específica, o Vale do Paraíba, um mosaico complexo de monoculturas comerciais, florestas secundárias, plantios de

restauração e remanescentes florestais. A descrição detalhada desta paisagem—marcada por um histórico de desmatamento seguido por um aumento na cobertura florestal impulsionado por políticas ambientais—serve como uma validação contextual para os resultados. Ao identificar que as florestas em regeneração natural abrigam a maior abundância de indivíduos com potencial bioeconômico, o estudo valida a hipótese de que mesmo paisagens fragmentadas e em recuperação são reservatórios valiosos de recursos biotecnológicos. A heterogeneidade encontrada entre os diferentes tipos de floresta dentro desta mesma região reforça a importância de avaliações locais, sugerindo que a metodologia de cruzar dados de campo com o interesse de mercado (patentes e publicações) pode ser replicada para revelar oportunidades ocultas em outras áreas tropicais com dinâmicas de uso do solo similares.

Uma análise cruzada de dados de campo, publicações científicas e registros de patentes revela uma discussão central sobre o potencial bioeconômico das espécies nativas em áreas de restauração, destacando tanto oportunidades consolidadas quanto fronteiras para inovação. Se por um lado, emergem espécies-chave que se encontram na intersecção de alta abundância ecológica com elevado interesse científico e comercial — quatro espécies se destacam como candidatas para iniciar e orientar projetos de restauração bioeconômica: as árvores *Araucaria angustifolia* e *Casearia sylvestris*, e as palmeiras *Euterpe edulis* e *Syagrus romanzoffiana*. *A. angustifolia* e *E. edulis* estão entre as mais estudadas, com centenas de artigos publicados, enquanto *S. romanzoffiana* lidera em número de registros de patentes (387). A relevância dessas espécies é amplificada por seus múltiplos usos em setores como farmacêutico, cosmético e alimentício, e pelo fato de que sua valorização econômica pode diretamente apoiar a conservação da biodiversidade, visto que *A. angustifolia* e *E. edulis* são espécies ameaçadas e *E. edulis* e *S. romanzoffiana* são espécies-chave para a fauna frugívora. O potencial dessas espécies exemplifica a sinergia onde a restauração florestal pode, simultaneamente, gerar matéria-prima para a indústria de biotecnologia e promover a conservação.

Por outro lado, a análise também demonstrou a abundância de uma espécie no campo que também não demonstrou o número elevado de estudos ou patentes a ela associados. *Pleroma raddianum*, a espécie nativa mais abundante registrada no inventário florestal feito na região, para a qual a literatura não reportou nenhum uso potencial, evidencia uma

oportunidade para o desenvolvimento de novas cadeias de valor por meio de estudos de inovação. Esta lacuna não é um caso isolado; para 41% do total de espécies nativas encontradas, nenhum uso foi reportado, o que sinaliza um vasto potencial inexplorado para inovação impulsionada pela biodiversidade. Essas espécies abundantes, mas pouco estudadas, representam uma fronteira estratégica para pesquisa e desenvolvimento, pois sua dominância ecológica sugere resiliência e adaptabilidade, características desejáveis para o fornecimento de matéria-prima. A prospecção de seu potencial, que muitas vezes pode ter origem no conhecimento tradicional, poderia desbloquear novos bioprodutos e diversificar ainda mais a viabilidade econômica da restauração florestal.

Os resultados sobre as fases de estudo orientadas à tomada de decisão no mercado expuseram uma distribuição marcadamente desigual, com uma forte concentração de estudos nas etapas iniciais de prospecção de espécies para o mercado. As fases de pesquisa laboratorial, como estudos *in vitro* (47%), *in vivo* (22,2%) e de química analítica (21,7%), que focam na identificação de compostos e na descrição de propriedades, representam a esmagadora maioria das publicações. Em nítido contraste, as fases que avançam na cadeia de valor e se aproximam de um produto final apresentam uma representatividade drasticamente menor: a fase pré-clínica corresponde a 13% dos estudos, a fase clínica a 4,3% e a fase de produto, que avalia o desempenho de mercado e a satisfação do consumidor, a apenas 6,1%. De forma ainda mais crítica, a análise revelou uma lacuna severa no conhecimento aplicado ao manejo da matéria-prima, com somente 5,8% dos estudos (35 artigos) abordando práticas silviculturais, como processamento de sementes e manejo de plantios. Essa distribuição assimétrica indica que, embora a ciência seja eficaz em identificar o potencial biotecnológico das espécies da flora nativa, existe um gargalo significativo na tradução desse potencial em inovações comercialmente viáveis e um déficit ainda maior no conhecimento de como produzir de forma sustentável os recursos florestais necessários para abastecer essas novas cadeias produtivas.

Em relação às patentes encontradas, que podem funcionar como um termômetro do interesse comercial na biodiversidade, os resultados revelaram uma dinâmica complexa e contraditória. Por um lado, a existência de 2.520 patentes registradas para 78 espécies nativas em 61 países demonstra o elevado valor econômico que empresas e instituições de pesquisa

atribuem a estes recursos, principalmente para aplicações nos setores farmacêutico e de cosméticos. A forte correlação encontrada entre o número de estudos científicos e o número de patentes registradas sugere que a pesquisa acadêmica é um motor direto para o desenvolvimento de inovações comercialmente protegidas. No entanto, a distribuição desses registros expõe uma fragilidade estratégica para o Brasil: a inovação é dominada por países como EUA, Japão e China, que lideram em número de patentes, refletindo uma concentração de capacidade tecnológica e financeira que explora a biodiversidade local, mas consolida a propriedade intelectual no exterior. Por outro lado, um olhar mais aprofundado no mercado brasileiro revela um paradoxo ainda maior: uma análise das 30 principais empresas com patentes de biodiversidade no Brasil mostrou que 89% de seus registros são derivados de espécies exóticas, como soja e girassol, e apenas 11% utilizam espécies nativas da Mata Atlântica (KRAINOVIC et al., 2024). Este dado evidencia que, apesar do potencial reconhecido, a indústria ainda favorece cadeias de valor consolidadas e exógenas, deixando o vasto potencial da flora nativa, como demonstrado pela palmeira *Syagrus romanzoffiana* com 387 patentes, largamente inexplorado e subutilizado dentro do próprio país.

Para alcançar uma nova era na restauração florestal, na qual os países tropicais podem assumir a liderança, é essencial adotar um modelo bioeconômico planejado na escala da paisagem. Nessa abordagem, diferentes parcelas de terra são gerenciadas para múltiplos objetivos, conciliando a produção de alto valor em áreas marginais — sem afetar a segurança alimentar — com a provisão de serviços ecossistêmicos. O principal desafio é a integração dos produtos da restauração no mercado, o que exige um arcabouço regulatório claro para permitir o uso de espécies nativas, salvaguardando a integridade ecológica e reduzindo os riscos. Para viabilizar essa transição, é crucial combinar mecanismos de incentivo, como certificações e garantias de preço, com a estímulo à demanda por meio de compras públicas. O sucesso desse modelo depende também de uma análise de custo-benefício que valorize as externalidades positivas — como geração de empregos e serviços ecossistêmicos — que atualmente não são quantificadas. Em suma, a integração entre tecnologia, conhecimento científico, estratégias de mercado e políticas públicas, com foco no engajamento comunitário, é a base para tornar a restauração tropical mais atraente e alcançar resultados abrangentes e de maior impacto

6. CONCLUSÕES

A metodologia que combina avaliação multicritério com ferramentas de geoprocessamento (GIS) é altamente eficaz para definir áreas adequadas à restauração multifuncional, tanto direcionada para objetivos ecológicos como também econômicos, especialmente em uma resolução de 30m, necessária para ambientes fragmentados e de alta dinâmica de uso do solo. É nessas áreas que o modelo de uso de restauração florestal bioeconômica pode transformar recursos em bens e serviços de valor econômico. Na Mata Atlântica, as espécies nativas demonstram alto potencial biotecnológico, principalmente para os setores farmacêutico e cosmético, com as espécies mais abundantes e de interesse comercial se destacando como candidatas ideais para guiar as ações.

O valor dessas espécies, já reconhecido pelo alto número de patentes, é amplificado pelo seu potencial de manejo não destrutivo, crucial para o desenvolvimento sustentável. No entanto, a variabilidade na riqueza e abundância entre os tipos de floresta exige abordagens de manejo específicas para maximizar os resultados — metodologia que integra dados de campo com os de estudos científicos e de registro de patentes pode ser replicada para outras realidades — enquanto as lacunas de conhecimento abrem avenidas para a inovação. É fundamental que esses esforços reconheçam os direitos e compartilhem os benefícios com os povos indígenas e as comunidades locais. Essa abordagem integrada inaugura uma nova era na restauração, oferecendo aos países tropicais a oportunidade de liderar a gestão sustentável de suas florestas e a provisão de serviços ecossistêmicos em escala global.

7. PERSPECTIVAS FUTURAS

Como perspectiva futura, a evolução das ferramentas de planejamento espacial é fundamental, com a inclusão de novas camadas de análise para refinar a tomada de decisão. Mapas de adequabilidade podem ser enriquecidos com a espacialização da demanda por serviços ecossistêmicos, como sequestro de carbono e regulação hídrica, que já estão sendo precificados em mercados emergentes. Adicionalmente, a incorporação da classificação fundiária e da estrutura de posse da terra permitirá o desenvolvimento de políticas públicas e

incentivos mais eficazes, direcionados especificamente para diferentes perfis de atores, como pequenos agricultores e comunidades tradicionais. Este aprimoramento tornará os mapas ferramentas ainda mais robustas para otimizar os retornos socioecológicos e ambientais dos investimentos em restauração.

Para consolidar o mercado de produtos da restauração, a perspectiva futura envolve a criação proativa de demanda e a modelagem de cenários para antecipar suas tendências. Uma estratégia-chave é o uso de compras públicas por parte de hospitais, escolas e outras instituições para estimular e garantir um mercado inicial. Em paralelo, é imperativo o desenvolvimento de um roteiro (*roadmap*) detalhado para as cadeias produtivas mais promissoras, mapeando todas as suas etapas, custos e realizando estudos de viabilidade associados a projetos-piloto. Tais projetos servirão como modelos replicáveis que demonstram a viabilidade financeira deste novo uso do solo (isso pode ser feito também com valores empilhados com PSA, por exemplo). A consolidação deste modelo pode alavancar significativamente a restauração florestal em larga escala, contribuindo para o combate às mudanças climáticas e para o cumprimento de acordos globais, além de posicionar o Brasil como um líder de destaque na vanguarda das soluções baseadas na natureza (*nature-based solutions*), unindo de forma eficaz as agendas de crise climática, perda de biodiversidade e desenvolvimento socioeconômico.

8. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], p. 711–728, 2013. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 28 ago. 2024.
- ANTUNES, A.; SIMMONS, C. S.; VEIGA, J. P. Non-Timber Forest Products and the Cosmetic Industry: An Econometric Assessment of Contributions to Income in the Brazilian Amazon. **Land**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 588, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/6/588>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- AZA, A.; RICCIOLI, F.; DI IACOVO, F. Optimising payment for environmental services schemes by integrating strategies: The case of the Atlantic Forest, Brazil. **Forest Policy and Economics**, [s. l.], v. 125, p. 102410, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389934121000162>. Acesso em: 17 ago. 2022.

BRANCALION, P. H. S.; DE ALMEIDA, D. R. A.; VIDAL, E.; MOLIN, P. G.; SONTAG, V. E.; SOUZA, S. E. X. F.; SCHULZE, M. D. Fake legal logging in the Brazilian Amazon. **Science Advances**, [s. l.], v. 4, n. 8, p. eaat1192, 2018. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aat1192>. Acesso em: 6 dez. 2021.

BRANCALION, P. H. S.; DE SIQUEIRA, L. P.; AMAZONAS, N. T.; RIZEK, M. B.; MENDES, A. F.; SANTIAMI, E. L.; RODRIGUES, R. R.; CALMON, M.; BENINI, R.; TYMUS, J. R. C.; HOLL, K. D.; CHAVES, R. B. Ecosystem restoration job creation potential in Brazil. **People and Nature**, [s. l.], p. pan3.10370, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pan3.10370>. Acesso em: 27 out. 2022.

BRANCALION, P. H.; HOLL, K. D. Upscaling ecological restoration by integrating with agriculture. **Frontiers in Ecology and the Environment**, [s. l.], p. e2802, 2024. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.2802>. Acesso em: 17 out. 2024.

BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; STRASSBURG, B. B. N.; RODRIGUES, R. R. Finding the money for tropical forest restoration. **Finding the money for tropical forest restoration**, [s. l.], v. 239, p. 41–50, 2012.

BRASIL. **LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC.** [S. l.: s. n.], 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm?msclkid=d836f862bb2e11ecb0a39fd92b1c866. Acesso em: 28 ago. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação ativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.** Available in: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11428.htm. Accessed: July 05, 2023. [S. l.: s. n.], 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11428.htm. Acesso em: 28 jul. 2023.

BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 20 jun. 2022.

BUGGE, M.; HANSEN, T.; KLITKOU, A. What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. **Sustainability**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 691, 2016. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2071-1050/8/7/691>. Acesso em: 10 out. 2023.

CALIXTO, J. B. The role of natural products in modern drug discovery. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], v. 91, n. suppl 3, p. e20190105, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652019000600603&tlng=en. Acesso em: 1 jul. 2021.

CLEMENT, C. R.; DOS SANTOS PEREIRA, H.; VIEIRA, I. C. G.; HOMMA, A. K. O. Challenges for a Brazilian Amazonian bioeconomy based on forest foods. **Trees, Forests and People**, [s. l.], v. 16, p. 100583, 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666719324000906>. Acesso em: 2 jul. 2024.

CROUZEILLES, R.; BEYER, H. L.; MONTEIRO, L. M.; FELTRAN-BARBIERI, R.; PESSÔA, A. C. M.; BARROS, F. S. M.; LINDENMAYER, D. B.; LINO, E. D. S. M.; GRELLE, C. E. V.; CHAZDON, R. L.; MATSUMOTO, M.; ROSA, M.; LATAWIEC, A. E.; STRASSBURG, B. B. N. Achieving cost-effective landscape-scale forest restoration through targeted natural regeneration. **Conservation Letters**, [s. l.], v. 13, n. 3, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/conl.12709>. Acesso em: 27 out. 2022.

DE ALMEIDA, D. R. A.; VEDOVATO, L. B.; FUZA, M.; MOLIN, P.; CASSOL, H.; RESENDE, A. F.; KRAINOVIC, P. M.; DE ALMEIDA, C. T.; AMARAL, C.; HANEDA, L.; ALBUQUERQUE, R. W.; GORGENS, E.; ROMANELLI, J.; FERREIRA, M.; SALK, C.; ESPINOZA, N.; SILVA, C.; BROADBENT, E.; BRANCALION, P. H. S. Remote sensing approaches to monitor tropical forest restoration: Current methods and future possibilities. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1365-2664.14830>. Acesso em: 9 dez. 2024.

DE MELLO, N. G. R.; GULINCK, H.; VAN DEN BROECK, P.; PARRA, C. Social-ecological sustainability of non-timber forest products: A review and theoretical considerations for future research. **Forest Policy and Economics**, [s. l.], v. 112, p. 102109, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389934119301303>. Acesso em: 29 jun. 2021.

DESPOT-BELMONTE, K.; NESSHÖVER, C.; SAARENMAA, H.; REGAN, E.; MEYER, C.; MARTINS, E.; GROOM, Q.; HOFFMANN, A.; CAINE, A.; BOWLES-NEWARK, N.; BAE, H.; CANHOS, D. A. L.; STENZEL, S.; BOWLER, D.; SCHNEIDER, A.; V. WEATHERDON, L.; S. MARTIN, C. Biodiversity data provision and decision-making - addressing the challenges. **Research Ideas and Outcomes**, [s. l.], v. 3, p. e12165, 2017. Disponível em: <http://riojournal.com/articles.php?id=12165>. Acesso em: 29 jun. 2021.

DEVIDE, A. C. P. **História ambiental do Vale do Paraíba**. [S. l.]: Instituto de Agronomia - UFRRJ, 2014. Working paper. Disponível em: <https://orgprints.org/id/eprint/24815/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

EMBRAPA. **CLASSES DE DECLIVIDADE (EMBRAPA, 1979)**. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1)., , 1979. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/sesmaria/MAPE-SESMARIA-EMBRAPA-90-60.pdf>.

FAGAN, M. E.; REID, J. L.; HOLLAND, M. B.; DREW, J. G.; ZAHAWI, R. A. How feasible are global forest restoration commitments?. **Conservation Letters**, [s. l.], v. 13, n. 3, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/conl.12700>. Acesso em: 19 jul. 2021.

FREITAS, F. L. M. de; SPAROVEK, G.; MÖRTBERG, U.; SILVEIRA, S.; KLUG, I.; BERNDES, G. Offsetting legal deficits of native vegetation among Brazilian landholders: Effects on nature protection and socioeconomic development. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 68, p. 189–199, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837716310997>. Acesso em: 5 jan. 2022.

GASPARINETTI, P.; BRANDÃO, D. O.; MANINGO, E. V.; KHAN, A.; CABANILLAS, F.; FARFAN, J.; ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F.; BAHRI, A. D.; PONLORK, D.; LENTINI, M.; ALEXANDRE, N.; ARAÚJO, V. D. S. Economic Feasibility of Tropical Forest Restoration Models Based on Non-Timber Forest Products in Brazil, Cambodia, Indonesia, and Peru. **Forests**, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 1878, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/11/1878>. Acesso em: 26 set. 2023.

GASTAUER, M.; MIAZAKI, A. S.; CROUZEILLES, R.; TAVARES, P. A.; LINO, E. D. S. M.; RODRIGUES, R. R. Balancing natural forest regrowth and tree planting to ensure social fairness and compliance with environmental policies. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 58, n. 11, p. 2371–2383, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.14065>. Acesso em: 28 maio 2022.

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.; FARGIONE, J. Natural climate solutions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 114, n. 44, p. 11645–11650, 2017. Disponível em: <http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1710465114>. Acesso em: 29 jun. 2021.

GÜNTER, S.; WEBER, M.; STIMM, B.; MOSANDL, R. (org.). **Silviculture in the Tropics**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. 2011.(Tropical Forestry). v. 8. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-19986-8>. Acesso em: 29 jun. 2021.

HOBAN, S.; DA SILVA, J. M.; HUGHES, A.; HUNTER, M. E.; KALAMUJIĆ STROIL, B.; LAIKRE, L.; MASTRETTA-YANES, A.; MILLETTE, K.; PAZ-VINAS, I.; BUSTOS, L. R.; SHAW, R. E.; VERNESI, C.; THE COALITION FOR CONSERVATION GENETICS. Too simple, too complex, or just right? Advantages, challenges, and guidance for indicators of genetic diversity. **BioScience**, [s. l.], v. 74, n. 4, p. 269–280, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biosci/biae006>. Acesso em: 12 maio 2025.

HUA, F.; BRUIJNZEEL, L. A.; MELI, P.; MARTIN, P. A.; ZHANG, J.; NAKAGAWA, S.; MIAO, X.; WANG, W.; MCEVOY, C.; PEÑA-ARANCIBIA, J. L.; BRANCALION, P. H. S.; SMITH, P.; EDWARDS, D. P.; BALMFORD, A. The biodiversity and ecosystem service contributions and trade-offs of forest restoration approaches. **Science**, [s. l.], p. eabl4649, 2022. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abl4649>. Acesso em: 1 abr. 2022.

IBGE. **IBGE - Censo Agro 2017**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 22 ago. 2024.

IPBES. **IPBES Invasive Alien Species Assessment: Summary for Policymakers**. [S. l.]: Zenodo, 2023. Disponível em: <https://zenodo.org/record/8314303>. Acesso em: 11 out. 2023.

JAIMES, N. B. P.; SENDRA, J. B.; DELGADO, M. G.; PLATA, R. F.; NÉMIGA, X. A.; SOLÍS, L. R. M. Determination of Optimal Zones for Forest Plantations in the State of Mexico Using Multi-Criteria Spatial Analysis and GIS. **Journal of Geographic Information System**, [s. l.], v. 04, n. 03, p. 204–218, 2012. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/jgis.2012.43025>. Acesso em: 30 abr. 2024.

JOLY, C. A.; RODRIGUES, * Ricardo R.; METZGER, J. P.; HADDAD, C. F. B.; VERDADE, L. M.; OLIVEIRA, M. C.; BOLZANI, V. S.; JOLY, C. A.; RODRIGUES, * Ricardo R.; METZGER, J. P.; HADDAD, C. F. B.; VERDADE, L. M.; OLIVEIRA, M. C.; BOLZANI, V. S. Biodiversity Conservation Research, Training, and Policy in São Paulo. **SCIENCE**, [s. l.], v. 328, n. 5984, 2010.

KRAINOVIC, P. M.; BRANDÃO, DIEGO OLIVEIRA; RESENDE, ANGÉLICA FARIA; SCHONS, STELLA Z.; MUNHOZ, LEONARDO; METZGER, JEAN PAUL; NASCIMENTO, NATHÁLIA C.; RODRIGUES, RICARDO RIBEIRO; BRANCALION, PEDRO H. S.; GUILLEMOT, JOANNÈS; DE-MIGUEL, SERGIO. Current constraints to reconcile tropical forest restoration and bioeconomy. **Sustainability Science**, [s. l.], 2024.

KRAINOVIC, P. M.; RESENDE, A. F. de; AMAZONAS, N. T.; ALMEIDA, C. T. de; ALMEIDA, D. R. A. D.; SILVA, C. C.; ANDRADE, H. S. F. de; RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S. Potential native timber production in tropical forest restoration plantations. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 294–301, 2023.

KRAINOVIC, P.; ROMANELLI, J. P.; SIMÕES, L. H. P.; SOUZA, L. R.; BROUWER, R.; BOENI, A. F.; MASSI, K. G.; RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; MORENO, R. F.; NEVES, J.; STUANI, G. R. Biotechnological Potential of Atlantic Forest Native Trees. Zenodo, , 2023. Disponível em: <https://zenodo.org/record/7826787>. Acesso em: 26 set. 2023.

LAMB, D. Undertaking large-scale forest restoration to generate ecosystem services: Landscape restoration and ecosystem services. **Restoration Ecology**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 657–666, 2018. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/rec.12706>. Acesso em: 29 jun. 2021.

MARKETS & MARKETS. **Essential Oils Market - Global Forecast to 2026**. , 2022. Disponível em: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/essential-oil-market-119674487.html?gclid=CjwKCAjw3K2XBhAzEiwAmmgrAt2XjdxUIVGhBv4lgDD81pRv6b_zbVcCebMuCxTSQKanT01wZXUO3xoCWFEQAvD_BwE. Acesso em: 4 ago. 2022.

MAXIMO, Y. I.; HASSEGAWA, M.; VERKERK, P. J.; MISSIO, A. L. Forest Bioeconomy in Brazil: Potential Innovative Products from the Forest Sector. **Land**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 1297, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/8/1297>. Acesso em: 23 abr. 2023.

MELI, P.; HOLL, K. D.; REY BENAYAS, J. M.; JONES, H. P.; JONES, P. C.; MONTROYA, D.; MORENO MATEOS, D. A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 12, n. 2, p.

e0171368, 2017. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0171368>. Acesso em: 29 jun. 2021.

MELLO, K. de; FENDRICH, A. N.; BORGES-MATOS, C.; BRITES, A. D.; TAVARES, P. A.; DA ROCHA, G. C.; MATSUMOTO, M.; RODRIGUES, R. R.; JOLY, C. A.; SPAROVEK, G.; METZGER, J. P. Integrating ecological equivalence for native vegetation compensation: A methodological approach. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 108, p. 105568, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026483772100291X>. Acesso em: 5 jan. 2022.

MOLIN, P. G.; CHAZDON, R.; FROSINI DE BARROS FERRAZ, S.; BRANCALION, P. H. S. A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 55, n. 6, p. 2767–2778, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1365-2664.13263>. Acesso em: 29 jun. 2021.

NOBRE, I.; A. NOBRE, C. The Amazonia Third Way Initiative: The Role of Technology to Unveil the Potential of a Novel Tropical Biodiversity-Based Economy. *Em*: CARLOS LOURES, Luís (org.). **Land Use - Assessing the Past, Envisioning the Future**. [S. l.]: IntechOpen, 2019. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/land-use-assessing-the-past-envisioning-the-future/the-amazonia-third-way-initiative-the-role-of-technology-to-unveil-the-potential-of-a-novel-tropical>. Acesso em: 16 out. 2023.

NOBRE, C. A.; FELTRAN-BARBIERI, R.; DE ASSIS COSTA, F.; HADDAD, E. A.; SCHAEFFER, R.; DOMINGUES, E. P.; ROCHA FRASSON, C. M.; CAMURI, P.; GENIN, C.; SZKLO, A.; LUCENA, A. F. P.; FERNANDES, D. A.; SILVA, H.; VENTURA, R.; FOLHES, R. T.; FIORINI, A. C. O.; ROCHA, A. M.; SANTOS, A. J. L.; DA ROCHA KLAUTAU JUNIOR, A. B.; MAGALHÃES, A. S.; VINHOZA, A.; VIANNA, A. L. M.; BASSI, A. M.; ABELÉM, A. J. G.; BANIWA, B.; FELIN, B.; CALLEGARI, C. L.; BLENER, C.; BRANCO, D. C.; CASTRO, E. C. C.; PANTOJA, E.; PEROBELLI, F. S.; APURINÃ, F.; FOLHES, G. P.; DA SILVA, G. N.; SAVIAN, G.; PALLASKE, G.; ANGELKORTE, G. B.; BRANCO, G. C.; MARTINS, H.; WEI, H. K.; VICENTE, I.; ARAÚJO, I. F.; SANTOS, I. T.; FERREIRA, J. F.; PEREIRA, J. P.; SÁ, J. D. M.; BUZATI, J.; SASS, K. S.; DE SOUZA, K. B.; BARBOSA, L.; GARRIDO, L.; DE SOUZA, L. M. M.; SOARES, L. R.; FERRAZ, L. P.; CARVALHO, L. S.; LANARO, L.; ALVES, L.; BAPTISTA, L. B.; GUZZETTI, M.; ENRIQUEZ, M. A.; MURY, M. E. S.; IMPÉRIO, M.; OLIVEIRA, M.; LOPES, M. P. C.; LOBATO, M. G. S.; SALOMON, M.; RAMPINI, P. F. C.; ROCHEDO, P. R. R.; GUERRA, R.; REIS, R. R. S.; BARREIROS, R. M. M.; DO PRADO TANURE, T. M.; CARVALHO, T. S.; SIMONATO, T. C.; BARBOSA, V. Nova Economia da Amazônia. **World Resources Institute**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/nova-economia-da-amazonia>. Acesso em: 4 out. 2024.

PIFFER, P. R.; ROSA, M. R.; TAMBOSI, L. R.; METZGER, J. P.; URIARTE, M. Turnover rates of regenerated forests challenge restoration efforts in the Brazilian Atlantic forest. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 045009, 2022. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac5ae1>. Acesso em: 4 maio 2022.

PINTO, R. C.; PINHEIRO, C.; VIDAL, E.; SCHWARTZ, G. Technical and financial evaluation of enrichment planting in logging gaps with the high-value species *Swietenia macrophylla* and *Handroanthus serratifolius* in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and**

Management, [s. l.], v. 495, p. 119380, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112721004680>. Acesso em: 26 set. 2022.

PÖRTNER, H.-O.; SCHOLLES, ROBERT J.; AGARD, JOHN; ARCHER, EMMA; BAI, XUEMEI; BARNES, DAVID; BURROWS, MICHAEL; CHAN, LENA; CHEUNG, WAI LUNG (WILLIAM); DIAMOND, SARAH; DONATTI, CAMILA; DUARTE, CARLOS; EISENHAEUER, NICO; FODEN, WENDY; GASALLA, MARIA A.; HANDA, COLLINS; HICKLER, THOMAS; HOEGH-GULDBERG, OVE; ICHII, KAZUHITO; JACOB, UTE; INSAROV, GREGORY; KIESSLING, WOLFGANG; LEADLEY, PAUL; LEEMANS, RIK; LEVIN, LISA; LIM, MICHELLE; MAHARAJ, SHOBHA; MANAGI, SHUNSUKE; MARQUET, PABLO A.; MCELWEE, PAMELA; MIDGLEY, GUY; OBERDORFF, THIERRY; OBURA, DAVID; OSMAN ELASHA, BALGIS; PANDIT, RAM; PASCUAL, UNAI; PIRES, ALINY P F; POPP, ALEXANDER; REYES-GARCÍA, VICTORIA; SANKARAN, MAHESH; SETTELE, JOSEF; SHIN, YUNNE-JAI; SINTAYEHU, DEJENE W.; SMITH, PETER; STEINER, NADJA; STRASSBURG, BERNARDO; SUKUMAR, RAMAN; TRISOS, CHRISTOPHER; VAL, ADALBERTO LUIS; WU, JIANGUO; ALDRIAN, EDVIN; PARMESAN, CAMILLE; PICHS-MADRUGA, RAMON; ROBERTS; ROGERS, ALEX D.; DÍAZ, SANDRA; FISCHER, MARKUS; HASHIMOTO, SHIZUKA; LAVOREL, SANDRA; WU, NING; NGO, HIEN. **IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change**. [S. l.]: Zenodo, 2021. Disponível em: <https://zenodo.org/record/4782538>. Acesso em: 13 abr. 2022.

RESENDE, A. F.; GAVIOLI, F. R.; CHAVES, R. B.; METZGER, J. P.; GUEDES PINTO, L. F.; PIFFER, P. R.; KRAINOVIC, P. M.; FUZA, M. S.; RODRIGUES, R. R.; PINHO, M.; ALMEIDA, C. T.; ALMEIDA, D. R. A.; MOLIN, P. G.; SILVA, T. S. F.; BRANCALION, P. H. S. How to enhance Atlantic Forest protection? Dealing with the shortcomings of successional stages classification. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 101–111, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064424000221>. Acesso em: 28 out. 2024.

ROMANELLI, J. P.; GONÇALVES, M. C. P.; DE ABREU PESTANA, L. F.; SOARES, J. A. H.; BOSCHI, R. S.; ANDRADE, D. F. Four challenges when conducting bibliometric reviews and how to deal with them. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 28, n. 43, p. 60448–60458, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11356-021-16420-x>. Acesso em: 21 mar. 2024.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 161–176, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>. Acesso em: 4 nov. 2024.

SANTOS, J. P. B.; ROMANELLI, J. P.; GARDON, F. R.; KRAINOVIC, P. M.; DE RESENDE, A. F.; SOUZA, L. R.; PIOTTO, D.; RODRIGUES, R. R. Multifunctional Forest Restoration in Brazil: A Critical Analysis of the Trends and Knowledge Gaps in the Scientific Literature. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 22, p. 15782, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/15782>. Acesso em: 5 fev. 2024.

SAPUCCI, G. R.; NEGRI, R. G.; CASACA, W.; MASSI, K. G. Analyzing Spatio-temporal Land Cover Dynamics in an Atlantic Forest Portion Using Unsupervised Change Detection Techniques. **Environmental Modeling & Assessment**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 581–590, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10666-021-09758-6>. Acesso em: 28 ago. 2024.

SILVA, R. F. B. da; BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Drivers of land change: Human-environment interactions and the Atlantic forest transition in the Paraíba Valley, Brazil. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 58, p. 133–144, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837716307359>. Acesso em: 29 jun. 2021.

SILVA, R. F. B. da; BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Socioeconomic changes and environmental policies as dimensions of regional land transitions in the Atlantic Forest, Brazil. **Environmental Science & Policy**, [s. l.], v. 74, p. 14–22, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462901117300023>. Acesso em: 29 jun. 2021.

TOMA, T. S. P.; OVERBECK, G. E.; MENDONÇA, M. D. S.; FERNANDES, G. W. Optimal references for ecological restoration: the need to protect references in the tropics. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 25–32, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2530064423000032>. Acesso em: 16 out. 2023.

VALLI, M.; RUSSO, H. M.; BOLZANI, V. S. The potential contribution of the natural products from Brazilian biodiversity to bioeconomy. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], v. 90, n. 1 suppl 1, p. 763–778, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652018000200763&lng=en&tlng=en. Acesso em: 22 jul. 2022.

VIANI, R. A. G.; BRACALE, H.; TAFFARELLO, D. Lessons Learned from the Water Producer Project in the Atlantic Forest, Brazil. **Forests**, [s. l.], v. 10, n. 11, p. 1031, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/11/1031>. Acesso em: 22 jun. 2022.