

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE CAMPUS  
DE SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS

Renata Marconi Custódio da Costa

**Regeneração Natural em Plantio Florestal por Semeadura Direta**

Sorocaba

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE CAMPUS  
DE SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS

Renata Marconi Custódio da Costa

**Regeneração Natural em Plantio Florestal por Semeadura Direta**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis da Universidade Federal de São Carlos. Área de concentração: Manejo de Recursos Renováveis.

Orientação: Prof. Dr. José Mauro Santana da Silva  
Coorientação: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fátima C. M. Piña-Rodrigues

Sorocaba

2025

Costa, Renata Marconi Custódio da

Regeneração natural em plantio florestal por semeadura direta / Renata Marconi Custódio da Costa -- 2025.  
73f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba  
Orientador (a): José Mauro Santana da Silva  
Banca Examinadora: Kenia Michele de Quadros, Júlio César Tannure Faria  
Bibliografia

1. Semeadura direta. 2. Regeneração natural. 3. Indicadores ecológicos. I. Costa, Renata Marconi Custódio da. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -  
CRB/8 6979



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade  
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

---

### Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Renata Marconi Custódio da Costa, realizada em 27/02/2025.

#### Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Jose Mauro Santana da Silva (UFSCar)

Profa. Dra. Kenia Michele de Quadros Tronco (UNIR)

Prof. Dr. Júlio César Tannure Faria (UFSCar)

Dedico ao meu marido Helder por me incentivar e pela união e carinho. E ao meu pai (em memória) e a minha mãe que sempre me apoiaram nos estudos e por serem modelos de determinação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda a equipe do Laboratório de Sementes e Mudanças Florestais da UFSCar (LASEM) por toda ajuda, atenção e contribuição de informações que eu tive ao longo do processo. Em especial Lindomar, Lisa, Felipe, Mariane e Bruno.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Mauro Santana da Silva e a minha co-orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Fátima C. M. Piña-Rodrigues pela orientação, suporte e pelo conhecimento compartilhado.

Aos professores da qualificação e banca, a professora Dr<sup>a</sup>. Kenia Michele de Quadros e Dr. Júlio César Tannure Faria pelas dicas e orientações que contribuíram com a pesquisa. Agradeço a professora Dr<sup>a</sup> Kenia em especial, pela correção e dicas na escrita do trabalho o que me ajudou muito no meu aprendizado. Muito obrigada.

A toda minha equipe de campo Ivonir, Neri, Alemão e Nicolás por todo o trabalho de monitoramento na área do plantio e identificação das espécies.

Agradeço à Luciana da secretaria da PPGPUR pela atenção e informações em todos os momentos.

A oportunidade de ter participado das disciplinas do programa, agradeço aos professores e colegas de classe.

## RESUMO

COSTA, Renata Marconi Custódio da. Regeneração natural em plantio florestal por semeadura direta. 2025. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2025.

A Organização das Nações Unidas (ONU) declarou o período de 2021 a 2030 como a década de Restauração de Ecossistemas que tem o objetivo de prevenir, deter e reverter a degradação dos ecossistemas em todo o mundo. A restauração florestal tem a finalidade de restabelecer florestas biologicamente viáveis e que sejam capazes de se autoperpetuar sem a necessidade de depender de intervenções humanas constantes. A restauração ecológica deve reparar múltiplas facetas de um ecossistema, incluindo a sua composição, estrutura e função. Existe a necessidade de avaliar os resultados da restauração florestal, e para monitorar o funcionamento do ecossistema são necessários indicadores que avaliam os processos ecológicos. Estes indicadores precisam ser eficazes em mostrar a relação de causa e efeito, serem fáceis de medir, quantificar, interpretar e compreender. A seleção dos indicadores precisa incluir atributos de estabilidade que são as capacidades do sistema manter o equilíbrio dinâmico estável, capacidade do sistema voltar ao potencial produtivo após distúrbio denominado resiliência, a confiabilidade que é a capacidade do sistema manter a produtividade e equilíbrio por longo tempo. O objetivo geral deste trabalho foi verificar a aplicação de protocolos de monitoramento ambiental com o uso de indicadores ambientais. No capítulo 1 empregou-se o uso de indicadores de monitoramento ambiental em uma revisão sistemática de literatura que avaliou o uso de indicadores de funcionalidade ecológica em diferentes biomas florestais. Já o capítulo 2 avaliou um plantio florestal de 6,5 anos de idade com o foco na análise da regeneração natural.

Palavras-chave: biodiversidade; floresta estacional semidecidual; restauração ecológica; protocolo PRISMA 2020

## **ABSTRACT**

The United Nations (UN) has declared the period from 2021 to 2030 as the decade of Ecosystem Restoration, which aims to prevent, halt and reverse the degradation of ecosystems around the world. Forest restoration aims to reestablish biologically viable forests that are capable of self-perpetuating without the need to depend on constant human interventions. Ecological restoration must repair multiple facets of an ecosystem, including its composition, structure, and function. There is a need to evaluate the results of forest restoration, and to monitor ecosystem functioning, indicators that evaluate ecological processes are needed. These indicators need to be effective in showing the cause-and-effect relationship, be easy to measure, quantify, interpret and understand. The selection of indicators needs to include stability attributes, which are the system's capabilities to maintain stable dynamic equilibrium, the system's ability to return to productive potential after a disturbance called resilience, reliability, which is the system's ability to maintain productivity and equilibrium for a long time. The general objective of this work was to verify the application of environmental monitoring protocols with the use of environmental indicators. In chapter 1, the use of environmental monitoring indicators was used in a systematic literature review that evaluated the use of ecological functionality indicators in different forest biomes. Chapter 2 evaluated a 6.5-year-old forest plantation with a focus on the analysis of natural regeneration.

**Keywords:** biodiversity; seasonal semideciduous forest; Ecological restoration; PRISMA 2020 protocol

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 ARTIGO 1</b> .....	15
2.1 INTRODUÇÃO.....	16
2.2 MÉTODOS.....	17
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
<b>2.3.1 Países</b> .....	24
<b>2.3.2 Evolução Anual</b> .....	26
<b>2.3.3 Fitofisionomia Florestal</b> .....	28
<b>2.3.4 Classificação dos Indicadores</b> .....	31
2.4 CONCLUSÕES.....	35
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36
<b>3 ARTIGO 2</b> .....	41
3.1 INTRODUÇÃO.....	42
3.2 MÉTODOS.....	44
3.3 RESULTADOS .....	49
<b>3.3.1 Espécies Regenerantes</b> .....	49
<b>3.3.2 Indicadores de Funcionalidade Ecológica</b> .....	51
<b>3.3.3 Dispersão, Grupo Sucessional, Agente Dispensor e Origem do Propágulo</b> ...	53
<b>3.3.4 Sanidade e Herbivoria</b> .....	55
<b>3.3.5 Similaridade com os Fragmentos do Entorno</b> .....	56
3.4 DISCUSSÃO .....	57
<b>3.4.1 Espécies Regenerantes</b> .....	58
<b>3.4.2 Indicadores da Funcionalidade Ecológica</b> .....	58
<b>3.4.3 Dispersão, Grupo Sucessional, Agente Dispensor e Origem do Propágulo</b> ...	59
<b>3.4.4 Sanidade e Herbivoria</b> .....	60
<b>3.4.5 Similaridade com os Fragmentos do Entorno</b> .....	61
3.5 CONCLUSÕES.....	62
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	62
<b>4 CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	67
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	68



## 1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) declarou o período de 2021 a 2030 como a década de Restauração de Ecossistemas que tem o objetivo de prevenir, deter e reverter a degradação dos ecossistemas em todo o mundo (ONU, 2021). Devido aos processos de degradação ambiental, perda da vegetação e evidências do aquecimento global, o Brasil assumiu o compromisso de restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2030 previsto na Política Nacional da Recuperação da Vegetação Nativa (BRASIL, 2017).

A restauração florestal tem a finalidade de restabelecer florestas biologicamente viáveis e que sejam capazes de se autoperpetuar sem a necessidade de depender de intervenções humanas constantes. Neste contexto, a restauração ecológica é uma prática que ainda necessita de avanços para que atinja a efetividade necessária, principalmente em regiões de florestas tropicais, cujos remanescentes estão inseridos em paisagens fragmentadas e degradadas por ações antrópicas (BRANCALION et al., 2010). Para que a restauração ecológica seja eficiente durante a sua trajetória de transição de um ecossistema degradado para recuperado, é preciso ter metas no projeto de restauração e monitoramento do processo (SER, 2004), e para tanto, são necessários elencar indicadores de restauração ecológica.

A restauração ecológica deve reparar múltiplas facetas de um ecossistema, incluindo a sua composição, estrutura e função. A composição está relacionada com a variedade de espécies. A estrutura se refere a organização física de um sistema e determina a adequação e qualidade do habitat. E a função se refere a processos ecológicos e evolutivos e fornece informações sobre a resiliência do ecossistema restaurado (McDONALD et al., 2016; GATICA-SAAVEDRA; ECHEVERRÍA; NELSON, 2017). O planejamento e implantação dos projetos de restauração devem incluir metas e objetivos do projeto definidos; descrição ecológica do local a ser restaurado; integração da área restaurada com a paisagem para permitir fluxo de organismos; planejamento, preparo, cronograma, orçamento da área a ser restaurada; protocolos para avaliação do desempenho da restauração incluindo estratégias de correção do trabalho; e estratégias para manutenção e proteção de longo prazo do ecossistema restaurado (SER, 2004). Os projetos de restauração devem utilizar atributos funcionais no planejamento com a expectativa de aumento do sucesso das ações de restauração ou combater ameaças, como invasão de espécies exóticas e deve considerar atributos associados ao estabelecimento e a coexistência de espécies (ROSENFELD; MÜLLER, 2020).

Os métodos de plantio de restauração florestal consideram o emprego da diversidade a partir do uso de grupos funcionais no plantio que são espécies de preenchimento (espécies

pioneiras e secundárias iniciais), e que recobre rapidamente o solo. E de espécies de diversidade que crescem e recobrem o solo mais lentamente, mas aumentam a diversidade por pertencerem a diversos grupos sucessionais (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Existe a necessidade de avaliar os resultados da restauração florestal, mas a comunidade global ainda carece de padrões para a avaliação destes processos (GATICA-SAAVEDRA; ECHEVERRÍA; NELSON, 2017). Para que o funcionamento de um ecossistema seja monitorado ele precisa de indicadores para avaliar os processos ecológicos. Eles precisam ser eficazes em mostrar a relação de causa e efeito, precisam ser fáceis de medir, quantificar, interpretar e de serem fáceis de compreender. Além disso, a escolha de indicadores deve identificar a capacidade do sistema de se perpetuar no tempo (PIÑA-RODRIGUES et al., 2015).

Neste contexto da escolha de indicadores, o método MESMIS - Marco de Avaliação de Sistemas de Recursos Naturais Incorporando Indicadores propõe uma análise de sistemas baseada em sua sustentabilidade. Este método permite flexibilidade na adaptação a diferentes sistemas e informações e o fato de possibilitar a avaliação ao longo do tempo. A seleção e definição dos indicadores precisam incluir indicadores de estabilidade que é a capacidade do sistema manter o equilíbrio dinâmico estável; resiliência que é a capacidade do sistema voltar ao potencial produtivo após distúrbio; e confiabilidade que é a capacidade do sistema manter a produtividade e equilíbrio por longo tempo (LÓPEZ-RIDAURA et al., 2002).

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi verificar a aplicação de protocolos de monitoramento ambiental com o uso de indicadores ambientais em dois capítulos diferentes que compõem esta dissertação.

O capítulo 1 empregou o uso de indicadores de monitoramento ambiental em uma pesquisa de revisão sistemática de literatura que avalia o uso de indicadores de funcionalidade ecológica em diferentes biomas florestais. Já o capítulo 2 avalia um plantio florestal de 6,5 anos de idade com o foco na análise da regeneração natural.

## 2 ARTIGO 1

### **Indicadores ambientais de funcionalidade ecológica para monitoramento de florestas restauradas – revisão sistemática**

#### **RESUMO**

O impacto das atividades humanas não organizadas, a degradação das funções ecossistêmicas e a perda da biodiversidade são considerados problemas de nível global grave. A restauração ecológica tem como foco o restabelecimento das principais características de um ecossistema degradado, melhorando sua produtividade, manutenção da biodiversidade e provisão dos serviços ambientais. Dessa maneira, as florestas restauradas precisam ser monitoradas para avaliar seus aspectos ecológicos, e para isso são usados indicadores para avaliação de atributos do ecossistema. O objetivo deste trabalho foi verificar e elencar os indicadores de funcionalidade ecológica mais utilizados no monitoramento de florestas restauradas. Realizou-se revisão sistemática de literatura para avaliar os indicadores de funcionalidade ecológica que são utilizados no monitoramento de florestas restauradas com o emprego da Declaração dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA 2020). Os países que mais apresentaram publicações nas bases de dados resultantes do protocolo PRISMA 2020 foram o Brasil, a China e os Estados Unidos (55%, 9% e 4%). A fitofisionomia florestal mais estudada foi a floresta estacional semidecidual, sendo que os indicadores de diversidade e estrutura foram os mais presentes, seguidos dos indicadores de Diversidade, Estrutura e Diversidade funcional.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos; recuperação de áreas degradadas; atributos florestais

#### **ABSTRACT**

The impact of unorganized human activities, the degradation of ecosystem functions and the loss of biodiversity are considered serious global problems. Ecological restoration focuses on restoring the main characteristics of a degraded ecosystem, improving its productivity, maintaining biodiversity, and providing environmental services. Thus, restored forests need to be monitored to assess their ecological aspects, and for these indicators are used to evaluate ecosystem attributes. The objective of this work was to verify and list the indicators of ecological functionality most used in the monitoring of restored forests. A systematic literature

review was carried out to evaluate the indicators of ecological functionality that are used in the monitoring of restored forests using the Statement of Key Items for Reporting: Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA, 2020). The countries that presented the most publications in the databases resulting from the PRISMA 2020 protocol were Brazil, China and the United States (55%, 9% and 4%). The most studied forest phytophysiology was the seasonal semideciduous forest, and the indicators of Diversity and Structure were the most present, followed by the indicators of Diversity, Structure and Functional diversity.

Keywords: ecosystem services; recovery of degraded areas; forest attributes

## 2.1 INTRODUÇÃO

O impacto das atividades humanas não organizadas, a degradação das funções ecossistêmicas e a perda da biodiversidade são considerados problemas de nível global grave (BENGTSSON et al., 2000). Este impacto de destruição afeta o habitat florestal que vem sendo degradado e tendo sua área reduzida, comprometendo a conectividade, funcionalidade e sustentabilidade (OLIVEIRA; ENGEL, 2018).

Para amenizar o problema do desmatamento florestal, a restauração ecológica tem como foco o restabelecimento das principais características de um ecossistema degradado, melhorando sua produtividade, manutenção da biodiversidade e provisão dos serviços ambientais (SER, 2004). A restauração florestal deve promover a cobertura vegetal, serviços ecossistêmicos, processos ecológicos e os serviços de suporte como ciclagem de nutrientes, produção primária, formação do solo, polinização e dispersão de sementes (FERNANDES; FREITAS; RODRIGUES, 2017). Os serviços ecossistêmicos geram benefícios relevantes para a sociedade em termos de manutenção e recuperação das condições ambientais, nas modalidades de provisão, suporte, regulação e serviços culturais (BRASIL, 2021).

A restauração florestal configura-se como solução promissora para mitigar ações antrópicas negativas (TEDESCO et al., 2023). Para mover os esforços de restauração em uma escala global e acelerar políticas públicas contra a degradação dos ecossistemas, a Organização das Nações Unidas declarou que o período de 2021 a 2030 é a década da Restauração dos Ecossistemas (ONU, 2019).

Existe a dificuldade de restaurar, avaliar e monitorar o processo de recomposição florestal, pelo fato de haver inúmeras fitofisionomias e paisagens dentro do mesmo bioma. Esta peculiaridade se reflete em ações de restauração ecológica com um alto nível de complexidade, diversidade biológica de espécies, a presença de espécies endêmicas e raras, interação com a

fauna, bem como a restauração de funções ecológicas e condições funcionais de conectividade da paisagem (STEDILLE et al., 2020).

As florestas restauradas precisam ser monitoradas para avaliar seus aspectos ecológicos, e para isso são usados indicadores para avaliação de atributos do ecossistema. Os indicadores precisam dar informações a nível da floresta sobre as espécies, composição, diversidade, estrutura, mudanças no uso da terra entre outros inclusive devem ser avaliados em conjunto (PIMENTEL et al., 2018).

As revisões sistemáticas servem para fornecer sínteses do estado de conhecimento de um campo, identificar prioridades futuras que podem ser pesquisadas, e abordar questões que não seriam respondidas em estudos individuais. As revisões sistemáticas desempenham diversas funções críticas e podem gerar vários tipos de conhecimentos para diferentes usuários desta revisão como pesquisadores e formuladores de políticas. Para que estas revisões agreguem valor no conhecimento científico é preciso que seja feita de modo transparente, completo e preciso (PAGE et al, 2021). Nesta pesquisa a revisão sistemática foi usada para identificar e sintetizar o uso de indicadores de monitoramento florestal usados para medir o sucesso da restauração florestal.

Com o intuito de destacar os indicadores da funcionalidade ecológica usados para monitorar os atributos de estabilidade, resiliência e confiabilidade. A hipótese desta pesquisa é que os indicadores ecológicos são flexíveis e adaptáveis para as diferentes fitofisionomias florestais, biomas e cenários.

Este trabalho foi uma revisão sistemática de literatura e teve como objetivos verificar nos artigos científicos selecionados quais foram os indicadores de funcionalidade ecológica mais usados no monitoramento florestal de florestas restauradas; e elencar os principais indicadores usados para monitorar os atributos de estabilidade, resiliência e confiabilidade.

## 2.2 MÉTODOS

Realizou-se revisão sistemática de literatura para avaliar os indicadores de funcionalidade ecológica que são usados no monitoramento de florestas restauradas. A metodologia seguida foi de acordo com a Declaração dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA 2020; PAGE et al., 2021).

As bases de dados selecionadas foram *Scopus* e *ScienceDirect* e as palavras-chaves usadas foram: ecological indicators AND forest restoration. A busca nestas bases foi feita para incluir palavras que aparecem no artigo, título, abstract e palavra-chave. O filtro de tempo usado

na pesquisa foi de 2010 até 2024. Também utilizou-se filtros para a área de Environmental Science, idioma inglês e português, artigo e artigo de revisão.

Foi realizado também um levantamento na plataforma Google acadêmico no modo de pesquisa avançada com as palavras-chaves: "ecological indicators" AND "forest restoration". O filtro de ano e idioma foi o mesmo das outras bases.

Os metadados resultantes das buscas foram exportados para análise no aplicativo de triagem e detecção de duplicatas Rayyan no formato RIS. Este aplicativo é compatível com diversas bases de dados e adequado para ser usado no protocolo PRISMA 2020 (OUZZANI et al., 2016).

A triagem dos metadados foi feita em três etapas. Na primeira triagem da leitura dos títulos foram excluídos textos que não são artigos científicos e que estavam fora do objetivo do trabalho. Na segunda triagem da leitura dos abstracts foi verificado que houve artigos fora do tema de indicadores de monitoramento, e eles foram excluídos da pesquisa, como por exemplo, trabalhos de pesquisa com fisiologia do crescimento de plantas, matéria orgânica, produto florestal madeireiro e não madeireiro e carbono. Na terceira triagem após a leitura do texto foram excluídos os artigos que não se enquadram nos objetivos iniciais que só foram detectados nesta fase.

Os artigos selecionados foram adicionados no programa Excel para Microsoft (versão 2501) para serem analisados. Na planilha, foram tabulados os dados de título, ano de publicação, país, tipo de artigo científico, tipo florestal, indicadores de restauração, parâmetros avaliados na área de restauração, análise estatística e resultado principal.

A análise bibliométrica dos metadados para avaliar as principais tendências da produtividade científica foi realizada no programa R Studio versão 4.4.2 usando o pacote Bibliometrix versão 4.3.1 (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Para esta análise foram usadas as mesmas palavras-chaves e os mesmos filtros usados na análise dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA 2020). De posse das palavras-chave, foi realizado a nuvem de palavras, sendo que quanto mais destacada a palavra, maior a frequência dela nos metadados.

Os indicadores de monitoramento florestal identificados nos artigos científicos foram classificados de acordo com o método “Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad” autores nas pesquisas que entraram neste trabalho. No protocolo de indicadores da funcionalidade ecológica, o indicador relacionado a estrutura aparece nos grupos de diversidade da comunidade, diversidade funcional e controle e manejo.

**Quadro 1:** Protocolo dos indicadores de funcionalidade ecológica para caracterização do sistema florestal com informações de cenários e referências utilizados na análise dos artigos científicos desta revisão sistemática. Sorocaba, 2024.

<b>Diversidade da Comunidade (Estabilidade e Resiliência)</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Cenários e Referências</b>
Diversidade das espécies arbóreas (H')	Índice de Shannon próximo ao esperado para os fragmentos de referência da mesma região
Riqueza de espécies nativas (S)	Desejável: presença de no mínimo 30 espécies Indesejável: baixa diversidade prejudica o estabelecimento das espécies futuras
Densidade de indivíduos arbóreos (d)	Desejável: baixa mortalidade Indesejável: alta mortalidade
Equitabilidade (J')	Índice de Pielou (J') parecido com as áreas de florestas secundárias da região
Número de indivíduos por grupo sucessional	Desejável: maior quantidade de espécies não pioneiras Indesejável: pioneiras
<b>Diversidade Funcional (Estabilidade e Resiliência)</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Cenários e Referências</b>
Número de espécies por grupos sucessionais de espécies arbóreas	Maior número de espécies não pioneiras
Altura média dos indivíduos arbóreos (m)	Desejável: valor compatível com o dos outros plantios de restauração (IMA > 0,5 m) Regular: valores considerados médios de crescimentos para plantios (IMA de 0,5 a 1,0 m) Indesejável: crescimento lento (IMA < 0,5 m)
Área basal média - AM (m <sup>2</sup> )	similar a área de referência

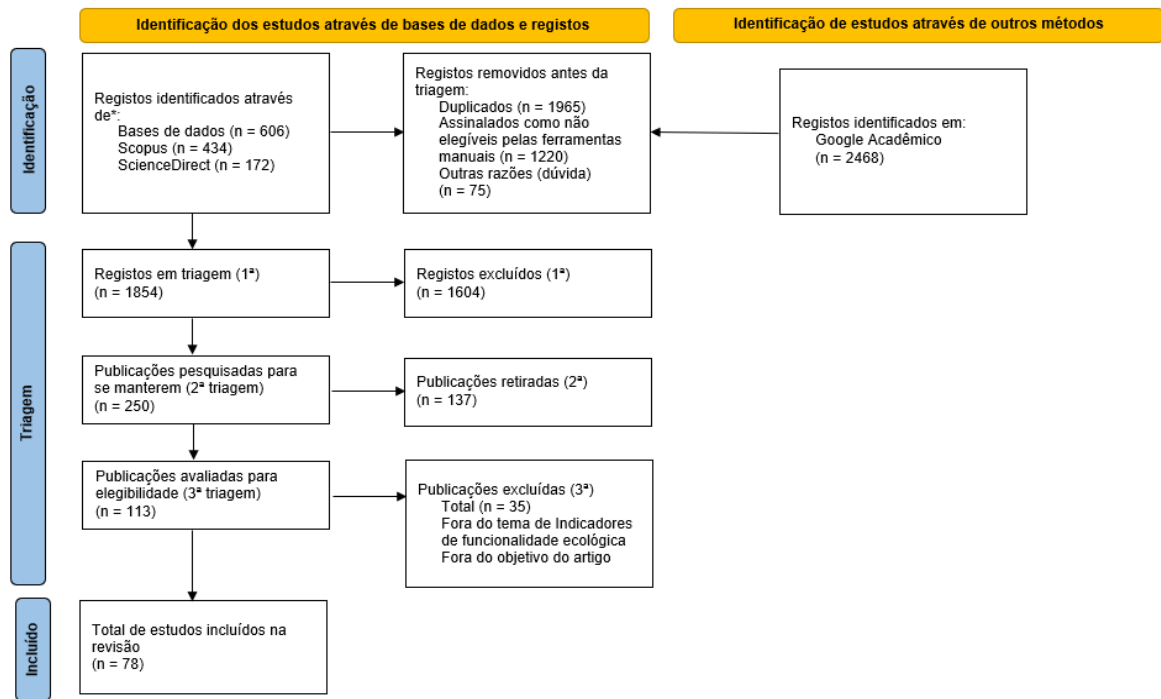
Diversidade de funções ecológicas - F	Presença de espécies adubadoras (fixadoras de nitrogênio; aporte de biomassa; atração de fauna; cobertura do solo (copas largas)
Epífitas (EPI)	Desejável: presente, predomínio nos terços superior e médio dos indivíduos arbóreos. Indesejável: ausente
Cipós e lianas (CIP)	Indesejável
<b>Controle e Manejo (Confiabilidade)</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Cenários e Referências</b>
Cobertura de copa - CC (m) %	3 anos > 15% 5 anos > 30%
Fechamento do dossel - L (%)	Indesejável: áreas abertas, sem cobertura de copa, com luminosidade superior a 50% Desejável: áreas fechadas com menor incidência de luz
Cobertura do solo com gramíneas invasoras - GRAM (%)	Indesejável: presença de gramíneas invasoras Desejável: baixa densidade de invasoras
Presença humana positiva - Phum (+)	Manejo na área
Presença humana negativa - Phum (-)	Presença de incêndios, lixo, trilhas
<b>Proteção do solo (Confiabilidade)</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Cenários e Referências</b>
Cobertura do solo com regenerantes - (%herb)	Indesejável: ausência de regenerantes. Regular: presença de alguns regenerantes na área. Desejável: presença de regenerantes.
% serapilheira cobrindo o solo	% serapilheira próximo da área de referência

Altura da serapilheira (cm)	Serapilheira cobrindo o solo com valores similares à área de floresta secundária da região
% Predação	O controle e o manejo da área se refletem em menor predação dos indivíduos, criando maior proteção ao sistema. Alta taxa de herbivoria é prejudicial à regeneração natural

Fonte: GALETTI et al. (2018) e PIÑA-RODRIGUES et al. (2015).

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da busca de palavras-chaves nas bases de dados e no Google acadêmico foi de 3074 trabalhos, sendo na *Scopus* 434, *ScienceDirect* 172 e Google acadêmico 2468. Foram detectados 1965 artigos duplicados e 75 artigos foram assinalados como dúvida porque os títulos não deram informações suficientes para a primeira triagem e precisaram da leitura do abstract. Após a revisão das duplicatas, o total de arquivos em registro para leitura dos títulos foi de 1854. Nesta primeira triagem foram excluídos os artigos que estavam fora do objetivo do trabalho, pois tiveram artigos com temas de sensoriamento remoto, áreas de mangue, ecologia animal, pagamentos por serviços ambientais, outros tipos de protocolos de indicadores entre outros. Esta triagem resultou em 250 artigos para a leitura do abstract. A segunda triagem resultou em 113 artigos para leitura do texto e verificar se eles de fato atendem aos objetivos do trabalho. Foram incluídos na análise 78 artigos científicos (Figura 1). Dos 78 artigos incluídos nesta revisão sistemática, 75 são artigos científicos e 3 são artigos de revisão.



**Figura 1:** Fluxo de triagem PRISMA 2020 dos artigos científicos desta revisão sistemática nas bases de dados *Scopus*, *ScienceDirect* e *Google acadêmico* no período de 2010 a 2024 em Sorocaba, 2024.

Adaptado de PAGE et al. (2021).

Foi realizada pesquisa prévia no Google acadêmico onde foi verificado que os resultados com este tema aparecem em maior quantidade a partir de 2010. Nesta base de dados foram usadas as aspas para poder filtrar os artigos que realmente são do tema.

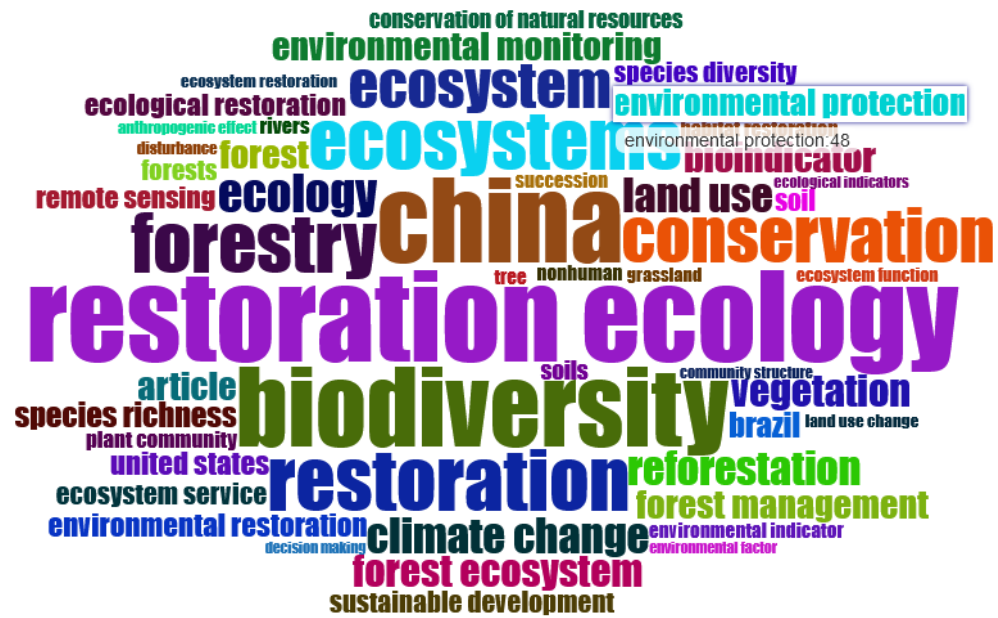
A pesquisa dos metadados no programa Bibliometrix resultou nas informações de principais autores que publicaram sobre o tema de indicadores de monitoramento de restauração florestal foram Li T., Wang J., Wang Y. e Zhang Y. respectivamente com 12, 11, 10 e 10 artigos publicados nestes 14 anos. Os principais periódicos foram o *Ecological Indicators*, *Restoration Ecology* e *Forest Ecology and Management* com 49, 39 e 24 publicações respectivamente. Os principais países que publicaram artigos neste tema foram China, Brasil e Estados Unidos (729, 353 e 341 publicações consecutivamente) (Tabela 1).

**Tabela 1:** Os dez primeiros resultados dos periódicos, autores e países do pacote Bibliometrix na base de dados *Scopus* no período de 2010 a 2024 em Sorocaba, 2024.

<b>Periódicos</b>	<b>Publicações</b>
ECOLOGICAL INDICATORS	49
RESTORATION ECOLOGY	39
FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT	24
ECOLOGICAL ENGINEERING	17
SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	17
SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)	16
LAND	14
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	13
SHENGTAI XUEBAO/ ACTA ECOLOGICA SINICA	13
LAND DEGRADATION AND DEVELOPMENT	11
<b>Autores</b>	
LI Y	12
WANG J	11
WANG Y	10
ZHANG Y	10
LIU Y	9
WANG X	9
LI W	8
ZHANG X	8
BRANCALION PHS	7
CHEN Y	7
<b>Países</b>	
CHINA	729
BRAZIL	353
USA	341
AUSTRÁLIA	77
MÉXICO	66
CANADÁ	64
GERMANY	64
ITALY	59
PORTUGAL	58
UK	58

O objetivo do uso do pacote Bibliometrix foi de obter informações mais abrangentes sobre os metadados dos países, principais autores, principais periódicos onde o tema de indicadores de monitoramento de florestas restauradas é mais usado e sobre as principais palavras-chaves que aparecem com mais frequência (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

O resultado da análise bibliométrica do pacote Bibliometrix para as palavras chaves mais utilizadas foi: restoration ecology com 165 ocorrências, China com 152 ocorrências e biodiversity com 143 ocorrências (Figura 2).



**Figura 2:** Nuvem de palavras das principais palavras-chaves geradas pelo pacote Bibliometrix na base de dados *Scopus* no período de 2010 a 2024 em Sorocaba, 2024.

Além das principais palavras-chaves do resultado, é possível notar na nuvem de palavras outras palavras relevantes como *restoration*, *ecosystems*, *forestry* e *conservation*.

### 2.3.1 Países

Os países com mais publicações nas bases de dados resultantes do Protocolo PRISMA 2020 foram o Brasil (43 artigos) e a China (7 artigos científicos) (Figura 3).



**Figura 3:** Distribuição de publicações de artigos científicos por país nas bases de dados *Scopus*, *ScienceDirect* e *Google acadêmico* no período de 2010 a 2024 em Sorocaba, 2024.

Destaca-se que o México e os Estados Unidos foram elencados com 3 artigos cada na análise das bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Google acadêmico*. Na análise do pacote *Bibliometrix (Scopus)*, o México é citado em quinto lugar e há a inversão de colocação entre Brasil e China.

Considerando que esta revisão sistemática usou também o programa *Google Acadêmico* e não somente bases de dados indexadas, o Brasil está como o país com o maior número de publicações no tema de indicadores de funcionalidade ecológica e não a China, como demonstrou o resultado da análise do pacote *Bibliometrix* no programa *R Studio*. O Brasil tem o compromisso de restaurar áreas degradadas com o objetivo de recuperar pelo menos 12 milhões de hectares até 2030, assim como está descrito no Decreto nº 8972 de 23 de janeiro de 2017 e que Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (BRASIL, 2017). Além da legislação, existem casos de degradações ambientais severas, como os que ocorreram em barragens (Mariana) e áreas de mineração, e que requerem grande prioridade na restauração ecológica de florestas degradadas. Estes eventos necessitam de métodos eficientes de restauração associados ao monitoramento de indicadores ecológicos (CAMPANHARO et al., 2021 a). Em áreas de mineração por conta dos resíduos a água pode ficar extremamente ácida

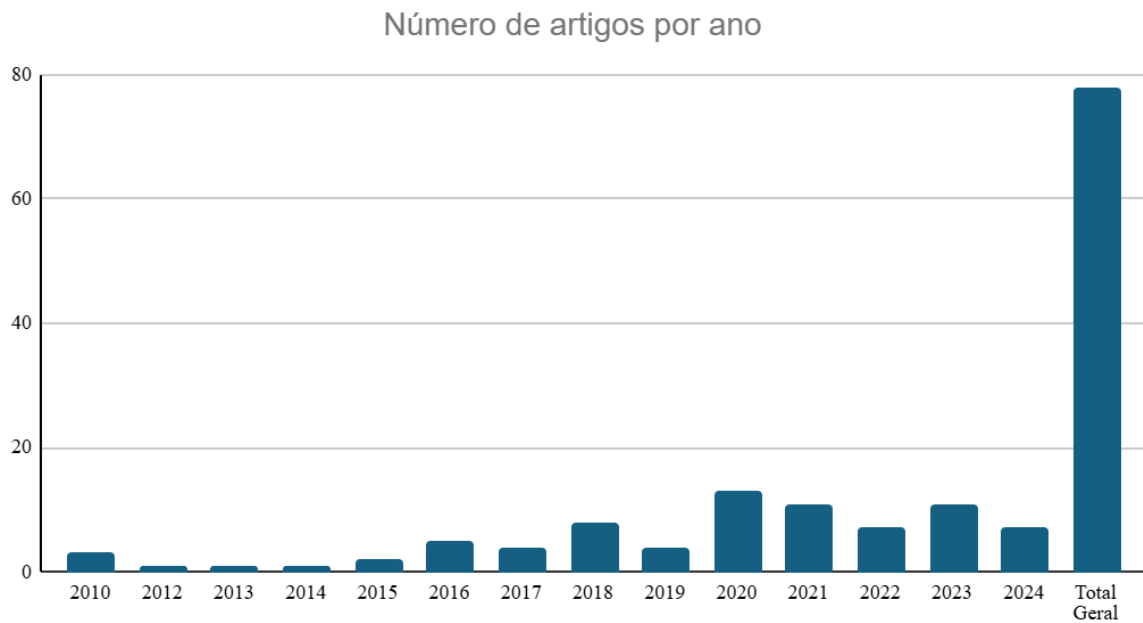
e com resíduos de metais pesados (DAM), contaminando afluentes, solo e águas subterrâneas fazendo da restauração um processo ainda mais complexo.

A China também enfrenta problemas ambientais e, na década de 1980, o governo chinês mudou o plano de desenvolvimento econômico e promulgou algumas leis que tratam da conservação ambiental. A conservação ambiental e a restauração de ecossistemas foram iniciadas para promover a restauração de ecossistemas naturais degradados para poderem fornecer boas funções ou serviços ecossistêmicos para a região (WANG et al., 2010). O programa chinês de Conversão de Terrenos em Declives (Sloping Land Conversion Program) replantou aproximadamente 170.000 ha de floresta até o final de 2008 na província de Hainan (China) contribuindo para a biodiversidade do local (LIU et al., 2014).

Os Estados Unidos também passaram por processos de industrialização em larga escala que causaram transformações em suas florestas como exemplo florestas temperadas da região do Pacific Northwest, que tiveram perda da diversidade de espécies arbóreas, e por conta do manejo intensivo, a floresta hoje é dominada pela espécie *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir). Florestas de estrutura simples e baixa diversidade são mais suscetíveis a fatores de estresse como distúrbios climáticos, fogo, insetos, quando comparadas com florestas mais complexas e diversas. Por conta destes fatores de distúrbios houve incentivos para restaurar a floresta Pacific Northwest para melhoria da integridade e resiliência (CASE; ETTINGER; PRADHAN, 2023).

### **2.3.2 Evolução Anual**

No protocolo PRISMA 2020 foram analisados 14 anos de publicação científica. Em relação ao período de publicação, o ano de 2020 teve 13 artigos publicados, e para os anos de 2021 e 2023, foram 11 artigos publicados (Figura 4).



**Figura 4:** Série histórica de periódicos científicos nas bases de dados *Scopus*, *ScienceDirect* e Google Acadêmico no período de 2010 a 2024 em Sorocaba, 2024.

A partir do ano de 2020 os resultados ficam mais estáveis em relação ao tema de indicadores de monitoramento florestal com exceção do ano de 2022 que foi ligeiramente menor. O número de artigos científicos a partir do ano de 2018 foi maior do que no período de 2010 até 2017. De 2018 até o momento desta análise elencou-se 61 artigos científicos (78%) neste tema de indicadores de restauração florestal. Este aumento da produção científica pode estar relacionado com a tendência global de restaurar ecossistemas degradados promovido pela Organização das Nações Unidas que declarou o período de 2021 a 2030 como a década da restauração dos ecossistemas (ONU, 2019).

As florestas contribuem para o desenvolvimento global sustentável, inclusive questões sobre como restaurar ecossistemas florestais degradados e aumentar a cobertura de áreas florestais globalmente estão entre os principais objetivos atuais de comunidades internacionais (QU et al., 2024). Estudos recentes mostram que uma grande parte dos remanescentes florestais do mundo já foram modificados por atividades humanas, o que altera a composição de espécies, estrutura e função ecológica. O entendimento desta dinâmica e seus mecanismos é fundamental para promover a recuperação florestal, sua conservação e a restauração da biodiversidade (ABBAS et al., 2019).

A recuperação florestal após processos de mineração também ocorreu em alguns artigos desta pesquisa. A atividade de mineração demanda supressão de vegetação e remoção de solo e medidas para mitigar e compensar este processo devem ser tomadas (SILVA et al., 2018;

CRUZ et al., 2020). O principal impacto causado pela mineração é a perturbação do solo e destruição de sua estrutura, o que exige restauração ativa para o restabelecimento da vegetação e suas funções naturais. O primeiro passo para a restauração de áreas de mineração é a reconstituição da camada superficial do solo para depois fazer um plantio de recobrimento rápido para reduzir a erosão laminar. Além disso, a presença das plantas acelera a estruturação do solo através do desenvolvimento das raízes, reduzindo a compactação do solo (BARBOSA et al., 2023). É importante salientar que a recuperação em áreas de mineração pode ser mais complexa devido a essas áreas serem mais vulneráveis e conter características diversas que depende do tipo de minério explorado.

Programas de restauração florestal bem-sucedidos promovem a aceleração dos processos de recuperação passiva para a fertilidade do solo recuperado e aumento da diversidade biológica. Estudos comparativos de sucessão ecológica florestal em locais perturbados fornecem informações significativas sobre a dinâmica da vegetação para garantir o sucesso do futuro de programas de recuperação em áreas de degradação (HAPSARI; TRIMANTO; BUDIHARTA, 2020).

### **2.3.3 Fitofisionomia Florestal**

Dos 78 artigos analisados, o nome de identificação das florestas foi variado, de acordo com o local de estudo e autor, por exemplo, floresta estacional semidecidual e floresta sazonal semidecidual. Dessa maneira, agrupou-se esses resultados, de acordo com a similaridade/diferenças entre a nomenclatura para florestas. As florestas que são particulares de uma região e de pesquisas com mais de uma formação florestal no estudo não foram agrupadas.

O grupo florestal com maior estudo publicado foi a floresta estacional semidecidual (19 artigos científicos). Evidencia-se que em 8 artigos não houve identificação da fitofisionomia no texto e a floresta foi nomeada como não identificada. O grupo de floresta tropical teve 7 artigos publicados (Tabela 2).

**Tabela 2:** Grupos florestais mais estudados identificados nos artigos nas bases de dados *Scopus*, *ScienceDirect* e Google acadêmico no período de 2010 a 2024 em Sorocaba, 2024.

	<b>Tipos de Florestas</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem %</b>
Agrupadas	floresta tropical	7	9
	floresta boreal	4	5
	floresta urbana	2	3
	floresta estacional semidecidual	19	24
	floresta decidual	2	3
	floresta ombrófila	6	8
	floresta atlântica	5	6
	floresta temperada	2	3
	floresta de coníferas e pinheiros	4	5
Não Agrupadas	floresta amazônica	3	4
	floresta de araucárias	2	3
	floresta de faia	1	1
	floresta de folha larga perene semi-úmida	1	1
	floresta mista de dipterocarpos	1	1
	floresta sazonal perene	1	1
	floresta secundária perene sempre verde	1	1
	florestas abertas seminaturais chamados montados dominados por sobreiros ou azinheiras	1	1
	florestas antigas	1	1
	mata ciliar	5	6
	floresta não identificada	8	10
	floresta estacional semidecidual e floresta ombrófila densa	1	1
	floresta secundária natural	1	1
	<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100</b>

Na classificação da Organização das Nações Unidas, existem quatro grandes grupos florestais que se distribuem no mundo de acordo com o clima da região: A floresta tropical (45% de cobertura vegetal), boreal (27%), temperada (16%) e subtropical (11%) (FAO, 2020).

Pelo menos 44% dos artigos que entraram nesta pesquisa estudaram indicadores de restauração em florestas tropicais. As florestas tropicais abarcam a maior parte da diversidade de espécies de árvores mundial com 53.000 espécies aproximadamente e são as florestas mais ameaçadas por conta do avanço da fronteira agropecuária (AMANI et al., 2021). Neste estudo, a fitofisionomia mais estudada é a estacional semidecidual e inclusive houve diversos estudos em áreas de floresta tropical, atlântica e ombrófila.

A perda florestal e degradação da floresta Amazônica alcançou níveis alarmantes causando efeitos negativos no clima, perda da biodiversidade e na relação da população local com a floresta (PEREIRA et al., 2024). A maioria das análises sobre as mudanças no uso e cobertura da terra na floresta amazônica tem se concentrado nas causas e efeitos do

desmatamento. No entanto, distúrbios antrópicos causam degradação da floresta amazônica remanescente e ameaçam o seu futuro. Entre estas perturbações, as mais importantes são os efeitos de borda (devido ao desflorestamento e à consequente fragmentação do habitat), à extração de madeira, aos incêndios e às secas extremas que foram intensificadas pelas alterações climáticas (LAPOLA et al., 2023).

O bioma da floresta Atlântica originalmente abrangia o Nordeste até o sudeste do Brasil e é considerado um hotspot de biodiversidade (LUZ et al., 2024). As principais fitofisionomias da Mata Atlântica são florestas tropicais e sazonais (IBGE, 2012). Atualmente somente 12,4% da floresta Atlântica possui remanescentes conservados e com maior biodiversidade. A Mata Atlântica é apontada em estudos internacionais como um bioma prioritário a ser restaurado, por conta de sua contribuição na conservação da biodiversidade e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas a nível internacional (SOS Mata Atlântica e INPE, 2023). A fragmentação das florestas tropicais é uma das causas principais do declínio da biodiversidade e de extinções locais, interrompe a dispersão de plantas e animais, aumenta o efeito de borda e facilita a invasão por pragas e espécies exóticas (TNG; TUCKER; APGAUA, 2023).

Considerando esta alta fragmentação e a perda de biodiversidade da floresta atlântica, alguns projetos de restauração tem como objetivo recuperar um ecossistema degradado a um estado anterior de degradação. E para que este objetivo seja alcançado é realizado a comparação com ecossistemas de referência para verificar se as metas de restauração foram alcançadas. Em um estudo de restauração realizado no Rio de Janeiro (Brasil) em floresta atlântica, avaliou a trajetória funcional de seis comunidades florestais de 20 anos de idade com combinações distintas de grupos ecológicos (pioneiras, secundárias e climáticas). Foi verificado que a comunidade plantada usando a maior diversidade funcional (ou seja, espécies pioneiras + secundárias iniciais e tardias + espécies clímax) tornou-se funcionalmente semelhante à área de referência após 20 anos do plantio (MANHÃES et al., 2022).

Em relação ao grupo das florestas boreais, que é a segunda maior floresta em relação ao tamanho da distribuição geográfica (FAO, 2020), somente 4 artigos apareceram neste trabalho para monitorar florestas restauradas com o uso de indicadores de funcionalidade ecológica. O uso de indicadores de monitoramento florestal foi usado para determinar se a vegetação da floresta boreal pode ser restaurada após a construção de gasodutos. Seis indicadores foram propostos para quantificar o desempenho da vegetação, que são: espécies nativas de uma determinada região, presença de ervas daninhas, riqueza de espécies, diversidade da comunidade, uniformidade da comunidade e estabelecimento de árvores (FLEMMING; FUTORANSKY; PRUETT, 2023).

Ainda em relação à floresta boreal, foi estudado a revegetação ativa após um longo período em áreas severamente degradadas por conta de poços de petróleo e gás. Por meio de análise da composição e características da comunidade de plantas de sub-bosque florestal, foi encontrado mudança direcional na composição funcional com o tempo desde a recuperação em direção àquela observada nos locais de referência, mas mesmo os locais recuperados mais antigos permaneceram significativamente diferentes dos locais de referência. Os autores deste artigo sugeriram que o conhecimento dos indicadores de composição funcional poderia melhorar a compreensão dos processos de recuperação e identificar algum fator ambiental que possa atrasar a recuperação bem-sucedida (AZERIA et al., 2020).

### 2.3.4 Classificação dos Indicadores

Entre os 78 artigos incluídos nesta pesquisa, o indicador mais frequente nos estudos foi o de Diversidade e Estrutura (16 artigos científicos), seguidos de Diversidade, Estrutura e Diversidade funcional (10 artigos científicos). A frequência dos indicadores de forma isolada e combinada foi mais alta para Diversidade (13 indicadores) e mais baixa para Diversidade funcional (6 indicadores). Destaca-se que o indicador Controle e manejo não foi observado isolado em nenhum artigo e a frequência foi de 7 indicadores (Tabela 3).

**Tabela 3:** Classificação dos indicadores de funcionalidade ecológica identificados nos artigos desta revisão nas bases de dados *Scopus*, *ScienceDirect* e Google acadêmico nos períodos de 2010 a 2024 em Sorocaba, 2024.

<b>Indicadores</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem %</b>
Controle e manejo e Proteção do solo	2	3
Diversidade	4	5
Diversidade e Controle e manejo	1	1
Diversidade e Diversidade funcional	4	5
Diversidade e Estrutura	16	21
Diversidade e Proteção do solo	4	5
Diversidade funcional	2	3
Diversidade, Controle e manejo e Proteção do solo	1	1
Diversidade, Estrutura e Controle e manejo	2	3
Diversidade, Estrutura e Diversidade funcional	10	13
Diversidade, Estrutura e Proteção do solo	7	9
Diversidade, Estrutura, Controle e manejo e Proteção do solo	4	5
Diversidade, Estrutura, Diversidade funcional e Controle e manejo	4	5
Diversidade, Estrutura, Diversidade funcional e Proteção do solo	2	3
Diversidade, Estrutura, Diversidade funcional, Controle e manejo e Proteção do solo	6	8
Estrutura	3	4
Proteção do solo	6	8
<b>Total Geral</b>	<b>78</b>	<b>100</b>

O método da classificação dos indicadores de funcionalidade ecológica permite a caracterização do sistema florestal com o uso de indicadores que auxiliam na avaliação de diferentes dimensões ecológicas como diversidade, parâmetros funcionais, proteção do solo e controle e manejo. O método avalia indicadores de estabilidade, resiliência e confiabilidade que dão informações sobre as funções ecológicas destas florestas restauradas e da sua capacidade de se estabelecer ao longo do tempo, mantendo a produtividade e o equilíbrio (GALETTI et al., 2018).

A grande maioria dos artigos científicos (81%) avaliaram as áreas de restauração florestal com a combinação de indicadores, sendo que somente 15 artigos científicos usaram indicadores isolados no monitoramento. O indicador Proteção do solo foi o predominante em estudos isolados com 8% dos artigos. O indicador de Diversidade combinado com outros indicadores foi o mais frequente (86%) nos trabalhos de restauração florestal seguido do indicador de Estrutura (69%) também combinado com outros indicadores. A combinação dos indicadores de Diversidade e Estrutura em dupla e junto com os outros indicadores analisados também teve destaque de importância no monitoramento de florestas restauradas em 65% dos artigos. O resultado do uso do indicador de Diversidade ser mais frequente do que o indicador Estrutura também foi verificado no artigo de revisão de (GATICA-SAAVEDRA; ECHEVERRÍA; NELSON (2017) que teve a diversidade em 79% das publicações e estrutura 56% das publicações.

O bioma da mata Atlântica brasileira é amplamente estudado em protocolos de monitoramento de restauração. Em um artigo de revisão que avaliou 211 artigos científicos para identificar áreas de restauração florestal na mata atlântica, avaliou os indicadores de monitoramento usados em 417 áreas de restauração. Eles identificaram 14 indicadores de monitoramento de restauração que abrangem Diversidade, Estrutura, Diversidade funcional, Controle e manejo e Proteção do solo (LONDE et al., 2020). Este artigo também informa que os principais objetivos dos projetos de restauração é o rápido recobrimento do dossel e aumento da riqueza, as áreas foram monitoradas de acordo com o protocolo do Pacto pela Restauração da Mata Atlântica (LONDE et al., 2020; PROTOCOLO, 2013).

Os indicadores de restauração florestal considerados essenciais para o monitoramento de áreas restauradas de Mata Atlântica com idade média de cinco anos por conta de características de eficiência são: densidade de árvore, área basal e cobertura do dossel na parte estrutural; riqueza de espécies nativas, riqueza de outras espécies e presença de espécies exóticas para o atributo de diversidade; e serrapilheira ou regenerantes para o atributo de processos ecológicos (LONDE; SOUSA; KOZOVITS, 2017).

O indicador Diversidade de árvores, índice de Shannon, foi considerado eficaz em avaliar o status de reabilitação de áreas de mineração quando comparado com outras variáveis. O indicador Diversidade mostrou relação positiva da diversidade de árvores e o estado de reabilitação de áreas de mineração, demonstrando a importância da comunidade arbórea para aumentar o sucesso da reabilitação do ecossistema e funcionamento do solo (GASTAUER et al., 2021). Em relação aos valores da Diversidade, quando se encontra abaixo do valor esperado, ele indica pouca quantidade de propágulos na área de restauração, podendo ser por conta da distância das fontes de dispersão de propágulos (SOARES et al., 2016).

O conceito de resiliência ecológica é uma ferramenta importante para avaliar o risco de transições e prever o impacto da gestão na resposta de um ecossistema às futuras perturbações. No entanto, a resiliência é difícil de quantificar, depende de uma gama de fatores e esses fatores são frequentemente desconhecidos em sistemas sujeitos a múltiplas perturbações. Estas foram as motivações para um estudo demonstrar uma estrutura de avaliação do potencial do *Pinus ponderosa* (pinheiro ponderosa) e florestas mistas de coníferas secas em resistir a perturbações futuras, combinando indicadores de resiliência de curto prazo, perturbações de fogo, insetos e secas usando dados da paisagem Rio Tusas-Lower San Antonio, no norte do Novo México (BRYANT et al., 2019).

O indicador Estrutura é frequentemente monitorado porque ele dá informações sobre área basal, densidade de árvores adultas e cobertura do dossel. Além disso, ele pode dar informações a respeito da qualidade do solo do plantio. Esse indicador está relacionado com taxa de sobrevivência, altura de indivíduos arbóreos, área basal, biomassa, cobertura do dossel, estratificação do dossel e outros (OLIVEIRA et al., 2021).

Em um estudo de restauração florestal por semeadura direta verificou que quantidades adequadas de fósforo no solo proporcionaram altura do dossel aumentada e o esse fechava mais rápido principalmente em lugares com maior precipitação anual de chuva (FREITAS et al., 2019). A Cobertura do dossel é um indicador de estrutura recomendado na avaliação florestal desde os primeiros anos da restauração pelo fato de evoluir rapidamente já nos primeiros estágios do desenvolvimento (LISBOA; CIELO-FILHO; CÂMARA, 2021).

O indicador Estrutura foi utilizado para avaliar e comparar diferenças de espécies e métricas estruturais de plantas lenhosas em florestas restauradas e naturais em florestas mistas situadas na planície central do Nepal. Os resultados apontaram que a medida de área basal foi similar entre a floresta restaurada e a natural. Mas demonstrou que a espécie *Shorea robusta* teve resultado de área basal maior na área restaurada do que na floresta natural. Indicando que as futuras intervenções no plantio de restauração devem concentrar-se no aumento da

heterogeneidade de outras espécies (SAPKOTA et al., 2021). Em áreas de restauração florestal onde os indicadores de restauração usados foram de cobertura vegetal, composição de espécies e riqueza, estrutura da comunidade e status de crescimento das árvores (Diversidade e Estrutura), indicaram que eles são adequados para avaliar o efeito de restauração ativa com eficiência quando comparados com áreas de reserva natural usando os mesmos indicadores (KANG et al., 2018). Esta dupla de indicadores (Diversidade e Estrutura) também foi proposta em um protocolo de restauração da vegetação ripária em Porto Rico como indicadores de sucesso da restauração, avaliando por um período de oito anos, a recuperação da vegetação ciliar usando uma abordagem de sucessão florestal (MANRIQUE-HERNANDEZ et al., 2016).

O indicador Diversidade funcional é considerado fundamental para impulsionar a variação da biomassa acima do solo (AGB) em florestas tropicais e tem sido demonstrado que as espécies dominantes e suas características funcionais têm um papel importante no aumento do AGB em processos de restauração. Em um experimento de restauração em Mariana (Brasil), foi verificado que na fase inicial de restauração, as espécies pioneiras e anemocóricas foram dominantes representadas principalmente por espécies regeneradas naturalmente. No entanto, a dispersão autocórica e as espécies fixadoras de nitrogênio eram grupos dominantes de biomassa na restauração ativa, impulsionados principalmente pela espécie *Senna alata* que tinha alta abundância. Foi verificado que métodos de restauração ativa determinam maior estoque de AGB em rejeitos de mineração onde a regeneração natural era limitada (CAMPANHARO et al., 2021 b).

O indicador Proteção do solo teve destaque em artigos científicos isolados que analisaram a produção de serapilheira. A serapilheira é composta por material orgânico e é vital na ciclagem de nutrientes, balanço e manutenção de funções ecossistêmicas. As espécies pioneiras contribuem para maior acúmulo de serapilheira do que espécies secundárias. A taxa de acumulação de serapilheira no período de maior crescimento populacional pode ser um diferencial na restauração florestal, pois é neste momento que as plantas mais necessitam de nutrientes, para facilitar a entrada de novas espécies mais exigentes no ambiente (COSTA et al., 2020). Em um artigo que analisou uma floresta plantada de 14 anos foi verificado que a cobertura herbácea não nativa diminuiu com o aumento da idade da floresta até ser interrompida com 10,9 anos. E a cobertura da serapilheira aumentou com a idade da floresta até atingir o pico de 20 vezes maior do que em áreas mais jovens, com ponto de interrupção significativo de 10,8 anos e depois declinou (WALLACE; CLARKSON; FARNWORTH, 2022). Segundo estudos com a produção de serapilheira, há relação positiva entre o tamanho do fragmento e a queda de

serapilheira, com tendência de maior queda em fragmentos maiores. Embora, essas informações não são consenso entre a comunidade científica (LONDE; SOUSA; KOZOVITS, 2016).

As propriedades da floresta restaurada, tais como parâmetros estruturais, podem se recuperar mais rapidamente do que outros. Padrões internacionais para monitoramento ambiental exigem avaliações da estrutura da vegetação, diversidade comunitária e processos ecológicos sem detalhes sobre quais e quantos propriedades do ecossistema a serem pesquisadas. Conseqüentemente, os programas de monitoramento diferem no número e tipos de características monitoradas, dificultando comparações entre diferentes projetos (GASTAUER et al., 2021).

Para o monitoramento de uma área de restauração florestal, os indicadores de Diversidade e Estrutura contribuem com informações essenciais. No atributo de Diversidade funcional as variáveis importantes são os de altura, área basal e classificação de espécies em pioneiras e não pioneiras. No atributo Controle e manejo, os principais indicadores são cobertura da copa, fechamento do dossel e cobertura do solo com gramíneas invasoras. E no atributo Proteção do solo há as variáveis altura da serapilheira e de cobertura do solo com regenerantes porque eles dão informações importantes de que a área em processo de restauração está recebendo propágulos do entorno. Destaca-se que houve menor utilização de indicadores do grupo Controle e manejo (26% dos artigos).

Respondendo a hipótese deste artigo o uso dos indicadores foi múltiplo e flexível no monitoramento de diversos biomas florestais. Eles são adequados às necessidades do estudo.

## 2.4 CONCLUSÕES

Os indicadores mais usados neste estudo no monitoramento das florestas restauradas são a combinação dos indicadores de Diversidade e Estrutura, seguido da combinação de Diversidade e Estrutura e Diversidade funcional.

Foi possível concluir que as bases de dados indexadas tiveram uma quantidade de artigos científicos menor do que o Google acadêmico no uso do protocolo PRISMA 2020 com estas palavras-chaves selecionadas. Provavelmente a maioria dos artigos brasileiros foram identificados na base de dados do Google acadêmico.

O uso destas palavras-chaves não permitiu que artigos científicos que monitoram as florestas boreais e temperadas aparecessem em grande quantidade nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, S.; NICHOL, J. E.; ZHANG, J.; FISCHER, G. A. The accumulation of species and recovery of species composition along a 70-year succession in a tropical secondary forest. **Ecological Indicators**, v. 106, p. 105524, 1 nov. 2019.
- AMANI, B. H. K.; N'GUESSAN, A. E.; DERROIRE, G.; N'DJA, J. K.; AKA G. M. E.; TRAORÉ, K.; ZO-BI, I; HÉRAULT, B. The potential of secondary forests to restore biodiversity of the lost forests in semi-deciduous West Africa. **Biological Conservation**, v. 259, 1 jul. 2021.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 1 nov. 2017.
- AZERIA, E. T.; SANTALA, K.; McINTOSH, A. C. S.; AUBIN, I. Plant traits as indicators of recovery of reclaimed wellsites in forested areas: Slow but directional succession trajectory. **Forest Ecology and Management**, v. 468, p. 118180, 15 jul. 2020.
- BARBOSA, R. DE S.; RODRIGUES, J. I. M.; OLIVEIRA, V. P.; MARTINS, W. B. R.; COELHO, C. A. C.; CARMO, W. F. S.; SANTOS, N. J. R.; SOUSA, W. V.; AGUIAR, E. A. L. S. P. Restoration of riparian ecosystems posterior to tin mining in the Central Amazon: Restoration indicators and selection of suitable species for planting. **Ecological Engineering**, v. 193, 1 ago. 2023.
- BENGTSSON, J.; NILSON, S. G.; FRANC, A.; MENOZZI, P. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. **Forest Ecology and Management**, v. 132, n. 1, p. 39–50, jun. 2000.
- BRASIL. **Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017**. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, 24 jan. 2017. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/decreto/d8972.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d8972.htm) Acesso em: 9 de janeiro de 2021.
- BRASIL. **Lei nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/lei/14119.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/14119.htm) Acesso em: 16 de fevereiro de 2025.
- BRYANT, T.; WARING, K.; MEADOR, A. S.; BRADFORD, J. B. A Framework for Quantifying Resilience to Forest Disturbance. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 2, 18 set. 2019.
- (a) CAMPANHARO, Í. F.; MARTINS, S. V.; VILLA, P. M.; KRUSCHEWSKY, G. C.; DIAS, A. A.; NABETA, F. H. Effects of Forest Restoration Techniques on Community Diversity and Aboveground Biomass on Area Affected by Mining Tailings in Mariana, Southeastern Brazil. **Research in Ecology**, v. 2, n. 4, p. 22–30, 1 fev. 2021.
- (b) CAMPANHARO, Í. F.; MARTINS, S. V.; VILLA, P. M.; KRUSCHEWSKY, G. C.; DIAS, A. A.; NABETA, F. H. Functional composition enhances aboveground biomass stock undergoing active forest restoration on mining tailings in Mariana, Brazil. **Restoration Ecology**, v. 29, n. 5, 2 jul. 2021.
- CASE, M. J.; ETTINGER, A. K.; PRADHAN, K. Forest restoration thinning accelerates development of old-growth characteristics in the coastal Pacific Northwest, USA. **Conservation Science and Practice**, v. 5, n. 9, 1 set. 2023.

COSTA, P. F.; PEREIRA, Z. V.; FERNANDES, S. S. L.; FRÓES, C. Q.; BARBOSA, T. O.; SANTOS, B. S. Produção e acúmulo de serapilheira em áreas de restauração florestal no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - ENFLO**, v. 8, p. 04, 28 maio 2020.

CRUZ, D. C.; BENAYAS, J. M. R.; FERREIRA, G. C.; RIBEIRO, S. S. Tree Communities in Three-Year-Old Post-Mining Sites Under Different Forest Restoration Techniques in the Brazilian Amazon. **Forests**, v. 11, n. 5, p. 527, 8 maio 2020.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Global Forest resources assessment 2020 – key findings. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, Italy, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/en/> Acesso em: 13 de janeiro de 2025.

FERNANDES, G. E.; FREITAS, N. P. DE; RODRIGUES, F. C. M. P. Cobertura florestal ou função ecológica: a eficácia da restauração na bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), n. 44, p. 127–145, jun. 2017.

FLEMMING, B. H.; FUTORANSKY, V.; PRUETT, W. Quantifying restoration success via natural recovery in forested areas following pipeline construction. **Restoration Ecology**, v. 31, n. 3, 1 mar. 2023.

FREITAS, M. G.; RODRIGUES, S. B.; CAMPOS-FILHO, G. H. P. C.; VEIGA, J. M.; JUNQUEIRA, R. G. P.; VIEIRA, D. L. M. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 224–232, 15 abr. 2019.

Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2021/2022, relatório técnico. São Paulo: **Fundação SOS Mata Atlântica**, 2023. Disponível em: [https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2023/05/SOSMAAtlas-da-Mata-Atlantica\\_2021-2022-1.pdf](https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2023/05/SOSMAAtlas-da-Mata-Atlantica_2021-2022-1.pdf) Acesso em: 13 de janeiro de 2025.

GALETTI, G.; SILVA, J. M. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIOTROWISKI, I. Análise multicriterial da estabilidade ecológica em três modelos de restauração florestal. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), n. 48, p. 142–157, jun. 2018.

GASTAUER, M.; SARMENTO, P. S. M.; CALDEIRA, C. F.; CASTRO, A. F.; RAMOS, S. J.; TREVELIN, L. C.; JAFFÉ, R.; ROSA, G. A.; CARNEIRO, M. A. C.; VALADARES, R. B. S.; OLIVEIRA, G.; FILHO, P. W. M. S. Shannon tree diversity is a surrogate for mineland rehabilitation status. **Ecological Indicators**, v. 130, 1 nov. 2021.

GATICA-SAAVEDRA, P.; ECHEVERRÍA, C.; NELSON, C. R. Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 6, p. 850–857, 1 nov. 2017.

HAPSARI, L.; TRIMANTO; BUDIHARTA, S. Spontaneous plant recolonization on reclaimed post-coal mining sites in East Kalimantan, Indonesia: Native versus alien and succession progress. **Biodiversitas**, v. 21, n. 5, p. 2003–2018, 1 maio 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2012. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4228241/mod\\_resource/content/2/Manual%20Tecnico%20da%20Vegetacao%20Brasileira%20-%202012.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4228241/mod_resource/content/2/Manual%20Tecnico%20da%20Vegetacao%20Brasileira%20-%202012.pdf) Acesso em: 13 de janeiro de 2025.

KANG, D.; LV, J.; LI, S.; WANG, X.; LI, J. Integrating indices to evaluate the effect of artificial restoration based on different comparisons in the Wanglang Nature Reserve. **Ecological Indicators**, v. 91, p. 423–428, 1 ago. 2018.

LAPOLA, D. M.; PINHO, P.; BARLOW, J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; BERENGUER, E.; CARMENTA, R.; LIDDY, H. M.; SEIXAS, H.; SILVA, C. V. J.; SILVA-JUNIOR, C. H. L.; ALENCAR, A. A. C.; ANDERSON, L. O.; D. ARMENTERAS; BROVKIN, V.; CALDERS, K.; CHAMBERS, J.; CHINI, L.; COSTA, M. H.; FARIA, B. L.; FEARNSIDE, P. M.; FERREIRA, J.; GATTI, L.; GUTIERREZ-VELEZ, V. H.; HAN, Z.; HIBBARD, K.; KOVEN, C.; LAWRENCE, P.; PONGRATZ, J.; PORTELA, B. T. T.; ROUNSEVELL, M.; RUANE, A. C.; SCHALDACH, R.; SILVA, S. S.; VON RANDOW, C.; WALKER, W. S. The drivers and impacts of Amazon forest degradation, **Science**. Washington, D.C, v. 379, n. 6630, p. 1-32, 2023.

LISBOA, T. DE F. B.; CIELO-FILHO, R.; CÂMARA, C. D. Applicability of monitoring protocols developed for active restoration projects in the evaluation of passive restoration of a subtropical riparian forest in Brazil. **Tropical Ecology**, v. 62, n. 1, p. 17–26, 17 mar. 2021.

LIU, X.; LU, Y.; YANG, Z.; ZHOU, Y. Regeneration and Development of Native Plant Species in Restored Mountain Forests, Hainan Island, China. **Mountain Research and Development**, v. 34, n. 4, p. 396, 1 nov. 2014.

LONDE, V.; FARAH, F. T.; RODRIGUES, R. R.; MARTINS, F. R. Reference and comparison values for ecological indicators in assessing restoration areas in the Atlantic Forest. **Ecological Indicators**, v. 110, 1 mar. 2020.

LONDE, V.; SOUSA, H. C. DE; KOZOVITS, A. R. Key plant indicators for monitoring areas undergoing restoration: A case study at the Das Velhas River, southeast Brazil. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 191–197, 1 jun. 2017.

LONDE, V.; SOUSA, H. C.; KOZOVITS, A. R. Litterfall as an indicator of productivity and recovery of ecological functions in a rehabilitated riparian forest at Das Velhas River, southeast Brazil. **Tropical Ecology**, v. 57, n. 2, p. 355-360, 2016.

LUZ, A. R. C.; MASSI, K. G.; POCIUS, O.; CAMPOS, M. M. S.; SANTIAMI, E. L. Land cover effects on regenerants density and richness in restoration treatments in the Atlantic rainforest biome. **Revista Árvore**, v. 48, 2024.

MANHÃES, A. P.; PANTALEÃO, L. C.; MORAES, L. F. D.; AMAZONAS, N. T.; SAAVEDRA, M. M.; MANTUANO, D.; SANSEVERO, J. B. Functional trajectory for the assessment of ecological restoration success. **Restoration Ecology**, v. 30, n. 8, 1 nov. 2022.

MANRIQUE-HERNANDEZ, H.; HEARTSILL-SCALLEY, T.; BARRETO-ORTA, M.; BETANCOURT-RAMÁN, C. M. ORTIZ-ZAYAS, J. Assessing Restoration Outcomes in Light of Succession: Management Implications for Tropical Riparian Forest Restoration. **Ecological Restoration**, v. 34, n. 2, p. 147–158, 1 jun. 2016.

OLIVEIRA, R. E. DE; ENGEL, V. L. Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. **Scientia Plena**, v. 13, n. 12, 17 jan. 2018.

OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L.; LOIOLA, P. P.; MORAES, L. F. D.; VISMARA, E. S. Top 10 indicators for evaluating restoration trajectories in the Brazilian Atlantic Forest. **Ecological Indicators**, v. 127, 1 ago. 2021.

OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z.; ELMAGARMID, A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, n. 1, p. 210, 5 dez. 2016.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMAN, T. C.; MULROW, C. D.; SHASEER, L.; TETZAFF, J. M.; AKI, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R. GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJAARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; McDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOTHER, D. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. **PLoS Medicine Public Library of Science**, 29 mar. 2021.

PEREIRA, P. C. G.; SIVIERO, M. C.; RUSCHEL, A. R.; VIEIRA, S. B.; SALES, A.; SIQUEIRA, M. L. M. Productive forest recovery in legal reserve area: a case study in eastern amazon. **Floresta**, v. 54, n. 1, 2024.

PIMENTEL, D.; FELICIANO, A. L. P.; MARAGON, L. C.; SILVA, M. I. O.; SANTOS, N. B.; PINTO, A. V. F. The Effect of Different Levels of Inclusion for Forest Restoration Assessment. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 23, n. 5, p. 1–10, 7 jun. 2018.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; SILVA, J. M. S.; PIOTROWSKI, I.; LOPES, G. G. G. R.; FRANCO, F.; ALVARES, S. **Protocolo de Monitoramento da Funcionalidade Ecológica de Áreas de Restauração**. Sorocaba, 2015.

PROTOCOLO. **Protocolo de Monitoramento para Programas e Projetos de Restauração Florestal**. 2013. Disponível em: <https://www.pactomataatlantica.org.br/wp-content/uploads/2021/05/protocolo-de-monitoramento-pt.pdf> Acesso em: 14 de janeiro de 2025.

QU, H.; DONG, X.; ZHANG, B.; LIU, H.; GAO, T.; MENG, Y.; REN, Y.; ZHANG, Y. Evaluation of Ecological Function Restoration Effect for Degraded Natural Forests in Xiaoxinganling, China. **Sustainability** (Switzerland), v. 16, n. 5, 1 mar. 2024.

SAPKOTA, R. P.; RIJAL, K.; STAHL, P. D.; PYAKUREL, A. P.; GAUTAN, A. P. Evidences of homogenization in species assemblages of restored mixed *Shorea robusta* forest stands of Nepal. **Global Ecology and Conservation**, v. 27, 1 jun. 2021.

SILVA, K. A.; MARTINS, S. V.; NETO, A. M.; LOPES, A. T. Estoque de serapilheira em uma floresta em processo de restauração após mineração de bauxita. **Rodriguésia**, v. 69, n. 2, p. 853–861, jun. 2018.

SOARES, A. A. V.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Influence of ecological group composition, plantation spacing and arrangement in the restoration of riparian forest on reservoir shores. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1107–1118, 28 dez. 2016.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION – SER. **International Primer on Ecological Restoration. Version 2**. 2004. Available at: [https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER\\_Primer/ser-primer-portuguese.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-portuguese.pdf) Accessed on: January 8, 2025.

STEDILLE, L. I. B.; GOMES, J. P.; COSTA, N. C. F.; BORTOLUZZI, R. L. C.; MANTOVANI, A. Passive restoration in Araucaria Forest: useful ecological indicators in monitoring successional advancement in exotic tree plantation landscapes. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 5, p. 1213–1224, 1 set. 2020.

TEDESCO, A. M.; BRANCALION, P. H.; HEPBURN, M. L. H.; WALJI, K.; WILSON, K. A.; POSSINGHAM, H. P.; DEAN, A. J.; NUGENT, N.; ELIAS-TROSTMANN, K.; PERES-HAMMERLE, K.-V.; RHODES, J. R. The role of incentive mechanisms in promoting forest restoration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 378, n. 1867, 2 jan. 2023.

TNG, D. Y. P.; TUCKER, N. I. J.; APGAUA, D. M. G. How does the forest structure, diversity and species composition of a restored rainforest 25 years after planting compare with that of mature rainforest? *North Queensland Naturalist*, v. 53, p. 73-87, 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. The UM Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030: Scaling up restoration of degraded and destroyed ecosystems, 2019. Disponível em: <https://stg-wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30919/UNDecade.pdf?sequence=11&isAllowed=y> Acesso em: 22 set. 2024.

WALLACE, K. J.; CLARKSON, B. D.; FARNWORTH, B. Restoration Trajectories and Ecological Thresholds during Planted Urban Forest Successional Development. *Forests*, v. 13, n. 2, 1 fev. 2022.

WANG, Z.; DAUN, C.; YUAN, L.; RAO, J.; ZHOU, Z.; LI, J.; YANG, C.; XU, W. Assessment of the restoration of a degraded semi-humid evergreen broadleaf forest ecosystem by combined single-indicator and comprehensive model method. *Ecological Engineering*, v. 36, n. 6, p. 757–767, jun. 2010.

### 3 ARTIGO 2

#### Regeneração Natural em Plantio Florestal por Semeadura Direta

##### RESUMO

A restauração ecológica tem o foco de restabelecer ecossistemas degradados de volta com suas características originais, ou o mais perto disso, porque nem sempre o impacto pode ser revertido. O bioma da mata atlântica é considerado um *hotspot* de biodiversidade, mas encontra-se severamente degradado e fragmentado. Nesse sentido, restaurar esse bioma configura-se como maior possibilidade de o Brasil alcançar as metas vinculadas à Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Para avaliar o nível de restauração florestal, é possível o uso de indicadores que consigam informar se a área restaurada está retornando às suas características originais, e a presença de propágulos e regenerantes é um bom indicador do aumento da diversidade. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a capacidade de regeneração natural em área de restauração de Mata Atlântica por semeadura direta que tinha 6,5 anos de idade. Foi feito o monitoramento em área total de todos os indivíduos que regeneraram com altura >0,50m. As espécies foram identificadas e classificadas de acordo com a síndrome de dispersão, agente dispersor, grupo sucessional e origem do propágulo. Para analisar a estabilidade, resiliência e confiabilidade utilizou-se protocolo de indicadores da funcionalidade ecológica, e análise de similaridade de Jaccard. Houveram 232 indivíduos regenerantes, em 39 espécies distribuídas em 18 famílias. A espécie em maior número foi *Moquiniastrum polymorphum* subsp. *ceanothifolium* (Less.) G. Sancho e a família mais frequente foi Myrtaceae. Por mais que a área de estudo seja considerada jovem no sentido de restauração, a diversidade, riqueza e classificação por grupo sucessional foram bem pontuados e a densidade de indivíduos arbóreos e equitabilidade foram intermediárias. Identificou-se maior número de espécies não pioneiras e alóctones.

Palavras-chave: biodiversidade; floresta estacional semidecidual; restauração ecológica

## ABSTRACT

Ecological restoration is focused on restoring degraded ecosystems back to their original characteristics, or as close to it as possible, because the impact cannot always be reversed. The Atlantic Forest biome is considered a biodiversity *hotspot*, but it is severely degraded and fragmented. In this sense, restoring this biome is a greater possibility for Brazil to achieve the goals linked to the National Policy for the Recovery of Native Vegetation. To assess the level of forest restoration, it is possible to use indicators that can inform whether the restored area is returning to its original characteristics, and the presence of propagules and regenerators is a good indicator of increased diversity. Thus, the objective of this research was to evaluate the capacity of natural regeneration in an area of restoration of Atlantic Forest by no-tillage that was 6.5 years old. The total area monitoring of all individuals who regenerated with height >0.50m was carried out. The species were identified and classified according to dispersal syndrome, dispersing agent, successional group and origin of the propagule. To analyze stability, resilience and reliability, a protocol of indicators of ecological functionality and Jaccard's similarity analysis were used. There were 232 regenerating individuals, out of 39 species distributed in 18 families. The species in greatest number was *Moquiniastrum polymorphum* subsp. *ceanothifolium* (Less.) G. Sancho and the most frequent family was Myrtaceae. As much as the study area is considered young in the sense of restoration, the diversity, richness and classification by successional groups were well scored and the density of three individuals and evenness were intermediate. A greater number of non-pioneer and allochthonous species was identified.

Keywords: biodiversity; seasonal semideciduous forest; Ecological restoration

### 3.1 INTRODUÇÃO

A restauração ecológica tem o foco de restabelecer um ecossistema que foi degradado ou destruído de volta com suas características originais, ou o mais próximo possível destas características porque nem sempre o impacto causado pode ser totalmente revertido. Um ecossistema é considerado restaurado quando contém recursos bióticos e abióticos para continuar seu desenvolvimento de modo estrutural e funcional sem auxílio de subsídios adicionais (SER, 2004). A restauração ecológica tem a capacidade de reverter a degradação, melhorar a resiliência da biodiversidade e entregar importantes serviços ecossistêmicos (WORTLEY; HERO; HOWES, 2013).

Entretanto, o conceito de restauração diverge entre autores, pois há aqueles que defendem a comparação do ecossistema restaurado com o de referência que é um ecossistema natural e preservado (RODRIGUES et al., 2009; BRANCALION et al., 2010). E existem autores que refutam essa comparação porque existem estudos que apontam que estes ecossistemas de referência, na maior parte dos casos são inatingíveis (DURIGAN et al., 2010; DURIGAN; SUGANUMA; MELO, 2016).

O Brasil instituiu a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa e tem o objetivo de recuperar pelo menos 12 milhões de hectares até 2030 e para isso instituiu políticas públicas, programas e ações para regeneração da vegetação nativa (BRASIL, 2017). No Estado de São Paulo a SMA 32 de 2014 estabelece orientações, diretrizes e critérios para a restauração ecológica (SÃO PAULO, 2014). Neste caso, a Portaria CBRN 01/2015 estabelece o protocolo de monitoramento de projetos de restauração ecológica (SÃO PAULO, 2015).

O bioma da floresta atlântica é considerado *hotspot* de biodiversidade, embora seja extremamente ameaçado por conta de sua fragmentação. Isso porque somente 11,6% da cobertura vegetal original permanece preservada, resultando na alta vulnerabilidade do bioma frente às mudanças climáticas (SCARANO; CEOTTO, 2015). Nesse bioma, os fragmentos remanescentes se encontram isolados uns dos outros na paisagem e circundados por matrizes de áreas agrícolas e de pastagem (GAZELL et al., 2012).

Para a avaliação da restauração, é possível realizar o levantamento da florística e fitossociologia, incluindo diversidade, grupos sucessionais e serviços ambientais (MARTINS; ANTONINI, 2016; RUIZ-JAEN; AIDE, 2005). Para tanto, a escolha de possíveis indicadores ecológicos é fundamental, pois eles devem ser fáceis de serem mensurados no campo, apresentar melhorias graduais do aumento da biodiversidade e de processos ecológicos (RUIZ-JAEN; AIDE, 2005; SUDING, 2011). Aliado a esses fatores, a falta de parâmetros avaliativos dificulta o monitoramento das áreas em processo de restauração (DURIGAN; SUGANUMA; MELO, 2016).

Aliás, a entrada de propágulos na área de restauração e seu restabelecimento como espécies regenerantes é favorecida pela paisagem do entorno. Longas distância das fontes de sementes é considerada como restrição severa para a recuperação da biodiversidade da área (SUGANUMA; TOREZAN; DURIGAN, 2018). A dispersão de sementes pode ser sugerida como importante indicador de restauração florestal. Ela pode ser medida pela chuva de sementes e pela diversidade e abundância de plantas regenerantes (LONDE; MESSIAS; SOUSA, 2021).

Os processos de restauração ecológica podem ocorrer por diversas metodologias de recuperação de áreas degradadas, desde a de maior intervenção, como o plantio total com mudas, até aquelas consideradas de baixa intervenção, como a semeadura direta. A semeadura direta é considerada uma alternativa viável para restauração florestal em larga escala, mas pouco se sabe sobre a trajetória sucessional de florestas tropicais restauradas por meio deste método (FREITAS et al., 2019). Um importante indicador para a restauração florestal é a capacidade da dispersão de sementes. Este atributo pode ser medido pela chuva de sementes ou pela abundância e diversidade de plantas em regeneração ou regenerantes na área do plantio florestal (LONDE; SOUSA; MESSIAS, 2020).

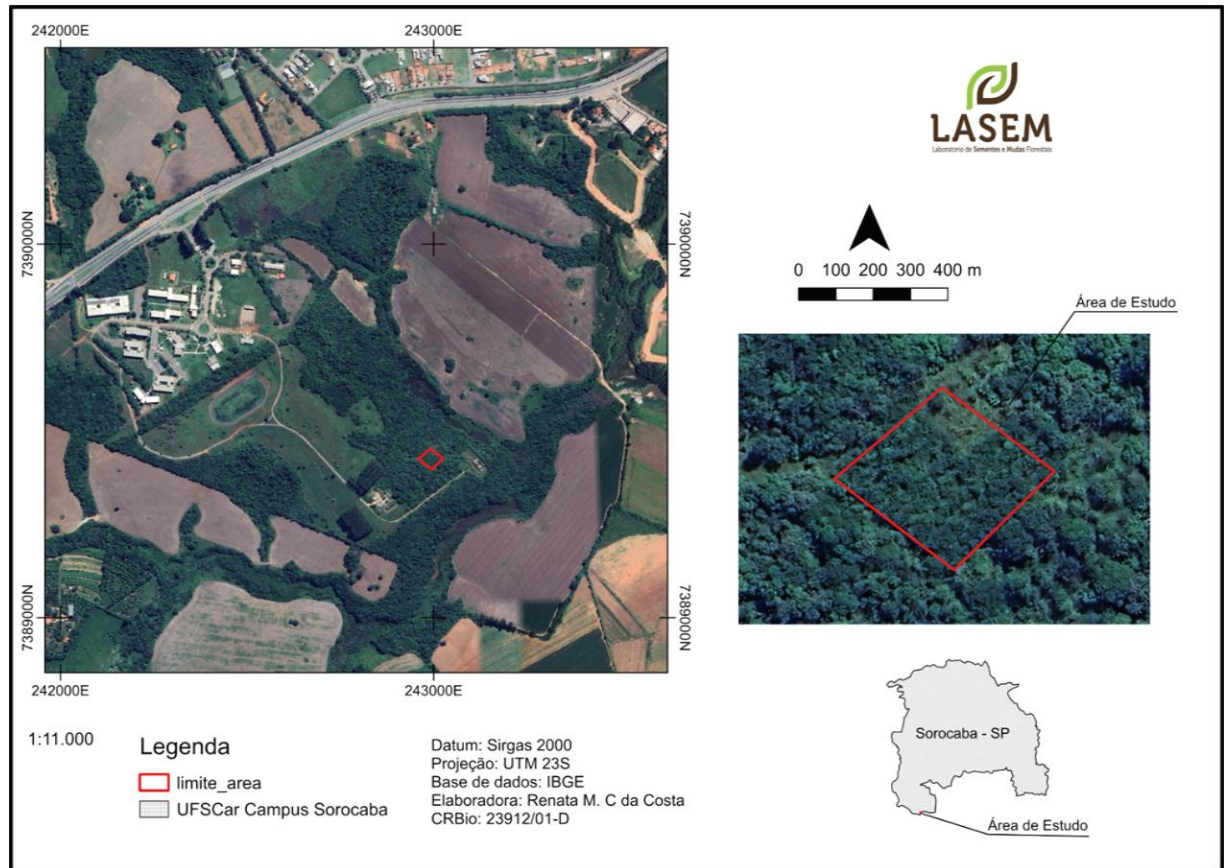
Considerando a alta diversidade e a seleção de espécies visando a atração da fauna e recobrimento da área de semeadura direta, a hipótese é que a semeadura direta utilizada no plantio florestal promove a regeneração natural precoce das espécies semeadas e a entrada de novas oriundas da área de entorno.

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar a capacidade de regeneração natural em área de restauração por semeadura direta. E responder às seguintes perguntas dos objetivos secundários: qual a composição de diversidade e sanidade da regeneração natural; quais as principais fontes de regeneração natural, e qual a similaridade entre as espécies semeadas e a regeneração natural.

### 3.2 MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Unidade de pesquisa do Laboratório de Sementes e Mudas Florestais (LASEM) da Universidade Federal de São Carlos *Campus* Sorocaba, São Paulo, Brasil (23°35'6,75" S – 47°31'6,01" O) (Figura 1). A precipitação total acumulada para este município no ano de 2023 foi de 1450,8 mm, a média da temperatura máxima foi de 21,9 °C e a média da temperatura mínima foi de 20,4 °C segundo os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024). O clima da região é classificado como “Cfa” (subtropical quente) (BECK et al., 2018). Os solos do município de Sorocaba são do tipo Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico (SOROCABA, 2014; ROSSI,

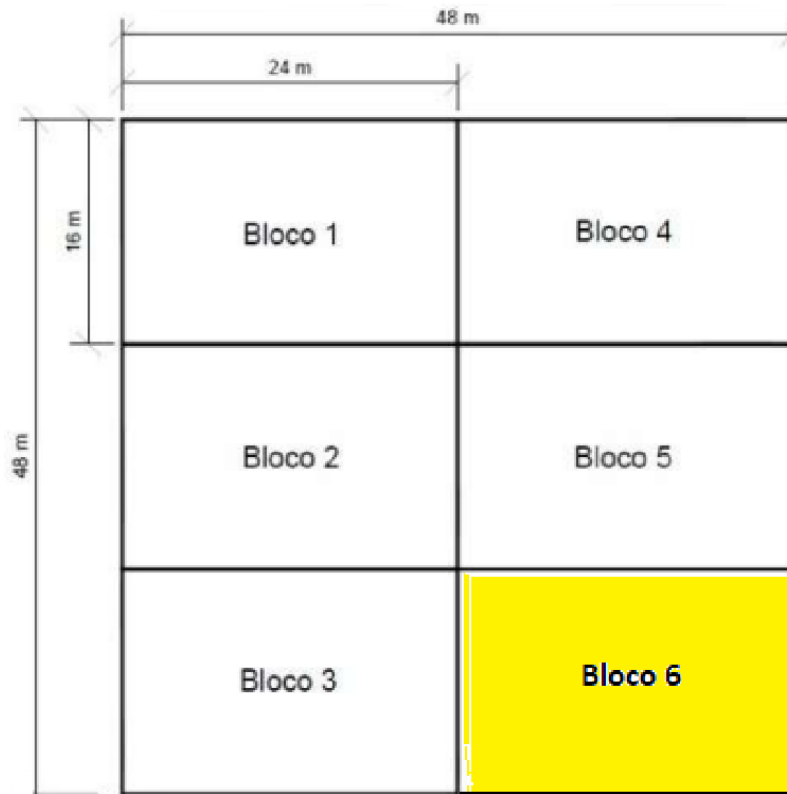
2017).



**Figura 1:** Localização da área de estudo, inserida em matriz florestal, na Universidade Federal de São Carlos, *Campus* de Sorocaba. Sorocaba, 2024.

Fonte: Autora

O tamanho da área de plantio florestal foi de 1920 m<sup>2</sup>, sendo que essa está em anexo a fragmentos remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual em estágio intermediário de sucessão e com elementos de Cerrado (CORRÊA et al., 2014). Este plantio florestal por semeadura direta foi realizado em dezembro de 2017, e no momento da coleta de dados, estava com 6,5 anos de idade aproximadamente. A área do plantio foi dividida em cinco blocos de 24x16 m (384 m<sup>2</sup>), onde o plantio foi realizado com sementes de tratamentos diversos nos blocos 1 a 5, e que foram plantadas em renques formados por conjuntos de três linhas com distância de 1,5 m entre si, com espaçamento de 3 m entre renques (ALMEIDA, 2021) (Figura 2).



**Figura 2:** Esquema da unidade de pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, *Campus Sorocaba* onde foi feito o plantio por semeadura direta nos blocos 1 a 5, e deixado o bloco 6 como área controle de regeneração natural em 2024.

Fonte: Desenho adaptado de ALMEIDA (2021).

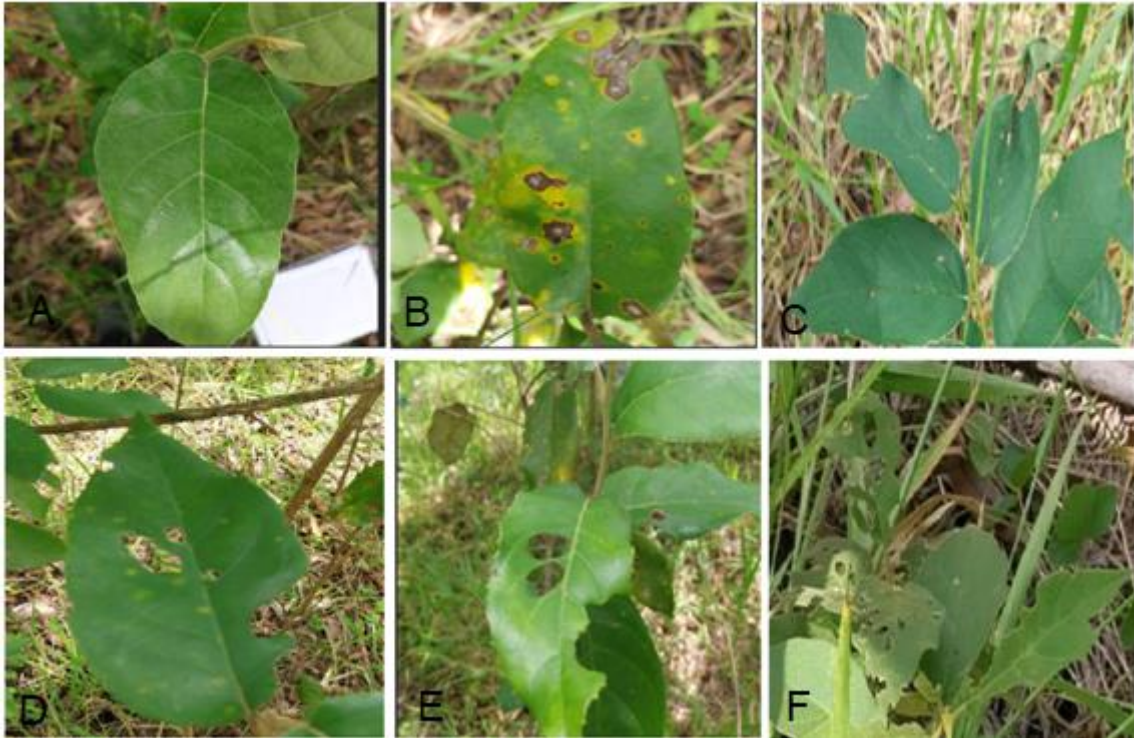
A coleta de dados foi realizada nos meses de junho a agosto de 2024, e todos os indivíduos regenerantes ou plantas que regeneraram na área com altura maior que 0,5 m foram identificados e mensurados. Os indivíduos regenerantes foram identificados com auxílio de mateiro, na linha (L), entrelinha (EL) e no renque (R) do plantio em toda a área. A coleta de dados também foi feita na área de controle (bloco 6) onde não foi realizada a semeadura direta. O tamanho total da área de monitoramento dos regenerantes é de 2304 m<sup>2</sup> (Figura 3). O critério principal para identificar os indivíduos regenerantes foi que eles não possuíam a etiqueta de identificação de espécies plantadas e sua posição no plantio, e não constavam na lista do censo dos indivíduos plantados.



**Figura 3:** Plantio por semeadura direta na unidade de pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Sorocaba em 2024: A- bloco 1; B- bloco 2; C- bloco 3; D- bloco 4; E- bloco 5; F- bloco 6.

Fonte: Autora

Para cada indivíduo regenerante catalogado foi mensurado a altura total (do coleto até a última gema de inserção de folhas), com o uso de bastão equipado com fita métrica, diâmetro a 1 cm da altura do solo (DAS) com auxílio de um paquímetro, diâmetro a altura do peito a 1,30 m do solo (DAP) para indivíduos com 5 cm ou mais de DAP também com o paquímetro. A predação foi avaliada qualitativamente, elencando valores de 3 (alta predação) a 0 (sem predação), incluindo presença (1) ou ausência (0) de manchas e deficiências nas folhas (Figura 4).



**Figura 4:** Regenerantes classificados quanto a predação e manchas e deficiências na unidade de pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, *Campus Sorocaba* em 2024: A- folha sem predação e manchas e deficiências; B- folha com manchas e deficiências; C- predação leve; D- predação média; E- predação média; F- predação alta.

Fonte: Autora

Os dados foram compilados em planilha de Excel (versão 2412), com a identificação de nome comum. Posteriormente, os indivíduos regenerantes foram identificados a nível de espécie de acordo com APG IV (2016) e REFLORA (2020), com exceção de 3 espécies que somente foi possível identificação a nível de família e 2 subtipos; síndrome de dispersão, agente dispersor (ZAMA et al., 2012; CARVALHO, 2014; SARTORELLI, 2017), grupo sucessional (BARBOSA et al., 2019) e identificação do propágulo como autóctone ou alóctone de acordo com os dados iniciais da germinação e crescimento da área (PIOTROWSKI, 2020).

Para analisar a estabilidade, resiliência e confiabilidade da área foi usado o protocolo de indicadores da funcionalidade ecológica (PIÑA-RODRIGUES et al., 2015). O programa PAST 4.14 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001) foi utilizado para calcular os índices de diversidade de Shannon ( $H'$ ), de Riqueza ( $S$ ), de Abundância e de Equitabilidade de Pielou ( $J'$ ) para os regenerantes da área.

Foi realizada conceituação dos indivíduos regenerantes por meio de pesquisa científica, indicando as informações das espécies que emergiram após o plantio de sementeira direta e dos primeiros indivíduos detectados como regenerantes. As informações sobre as espécies arbóreas presentes nos fragmentos remanescentes do local realizaram-se baseadas em KORTZ et al.

(2014), sendo que, posteriormente à identificação, foi realizada análise de similaridade de Jaccard no programa PAST 4.14. A análise da similaridade de Jaccard foi feita em 2 etapas, dos regenerantes (primeiros e novos) com o próprio plantio e dos novos regenerantes com o plantio e o fragmento.

### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 Espécies Regenerantes

Houveram 232 indivíduos regenerantes, em 39 espécies distribuídas em 18 famílias. A espécie em maior número foi *Moquiniastrum polymorphum* subsp. *ceanothifolium* (Less.) G. Sancho (24,57%), seguida de *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (12,50%) e *Machaerium acutifolium* Vogel (12,07%) (Tabela 1). Em relação às famílias, a mais frequente foi a Myrtaceae (sete vezes), seguida da Anacardiaceae e Fabaceae (quatro vezes) e Euphorbiaceae (três vezes).

**TABELA 1:** Regenerantes identificados na área de estudo, a nível de família e espécie, na unidade de pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Sorocaba, 2024.

Fonte: Autora

ID	Família	Nome Científico	Contagem	% Frequência
1	Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	1	0,43
2	Verbenaceae	<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	8	3,45
3	Apocynaceae	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg.	1	0,43
4	Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	2	0,86
5	Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	2	0,86
6	Rutaceae	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	1	0,43
7	Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	1	0,43
8	Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	2	0,86
9	Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	1	0,43
10	Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	2	0,86
11	Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	1	0,43
12	Euphorbiaceae	<i>Croton urucurana</i> Baill.	1	0,43
13	Fabaceae	<i>Erythrina verna</i> Vell.	1	0,43
14	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum argentinum</i> O.E.Schulz	1	0,43
15	Myrtaceae	<i>Eugenia bimarginata</i> DC.	2	0,86
16	Myrtaceae	<i>Eugenia klotzschiana</i> O.Berg	5	2,16
17	Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	2	0,86
18	Bignoniaceae	<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	1	0,43
19	Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	9	3,88
20	Lythraceae	<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	1	0,43
21	Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	29	12,50
22	Euphorbiaceae	<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	1	0,43
23	Fabaceae	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	28	12,07

ID	Família	Nome Científico	Contagem	% Frequência
24	Asteraceae	<i>Moquiniastrum polymorphum</i> subsp. <i>ceanothifolium</i> (Less.) G. Sancho	57	24,57
25	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	20	8,62
26	Myrtaceae	myrtaceae 1	3	1,29
27	Myrtaceae	myrtaceae 2	2	0,86
28	Myrtaceae	myrtaceae 3	1	0,43
29	-	NI	2	0,86
30	-	NI2	1	0,43
31	Myrtaceae	<i>Psidium cattleyanum</i> Sabine	7	3,02
32	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	8	3,45
33	Fabaceae	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	1	0,43
34	Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	7	3,02
35	Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	2	0,86
36	Solanaceae	<i>Solanum paniculatum</i> L.	12	5,17
37	Combretaceae	<i>Terminalia</i> sp	1	0,43
38	Combretaceae	<i>Terminalia triflora</i> (Griseb.) Lillo	1	0,43
39	Asteraceae	<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Sprengel) Vega & Dematteis	4	1,72
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>39</b>	<b>232</b>	<b>100</b>

A espécie *Moquiniastrum polymorphum* subsp. *ceanothifolium* (Less.) G. Sancho foi predominante nos blocos 2, 3, 4 e 5 com 5, 20, 8 e 8 exemplares em cada bloco respectivamente. Já para os blocos 1 e 6, a espécie predominante no bloco 1 foi a *Machaerium acutifolium* Vogel com 14 exemplares e a espécie predominante no bloco 6 foi a *Solanum paniculatum* L (Figura 5).



**Figura 5:** Regenerantes identificados nos blocos 1 a 6 na unidade de pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, *Campus Sorocaba* em 2024: A- *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.; B- *Moquiniastrum polymorphum* subsp. *ceanothifolium* (Less.) G. Sancho; C- *Copaifera langsdorffii* Desf. ; D- *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.; E- *Machaerium acutifolium* Vogel; F- *Solanum paniculatum* L.

Fonte: Autora

### 3.3.2 Indicadores de Funcionalidade Ecológica

Avaliando a diversidade de espécies e diversidade funcional, verificou-se que o resultado do Índice de Shannon ( $H'$ ), a densidade de indivíduos arbóreos, a equitabilidade de Pielou ( $J'$ ) e a altura média dos indivíduos arbóreos foram classificados como médio. Os indicadores de classificação alta foram a riqueza, a porcentagem de indivíduos por grupo sucessional e a diversidade de funções sucessionais (Tabela 2).

**TABELA 2:** Índices de diversidade de espécie e diversidade funcional com seus devidos parâmetros, seguido de resultado (números exatos) e seu indicador (de 0, 1-baixo; 2-médio a 3-alto), a partir dos regenerantes identificados na área de estudo, na unidade de pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, *Campus Sorocaba*, 2024.

Indicador	Unidade Usada	Parâmetro	Resultado Regenerantes	Resultado Indicador
<b>Estabilidade e Resiliência</b>				
<b>Diversidade de Espécies e Diversidade Funcional</b>				
Diversidade de espécies	Índice de Shannon (H')	H' < 0,9 = baixo (1) 1,0 < H' < 2,9 = médio (2) H' > 3,0 = alto (3)	2,853	médio
Riqueza de espécies	nº de espécies por área	nº espécies < 10 = 1 10 > nº espécies < 30 = 2 nº espécies > 30 = 3	39	alto
Densidade de indivíduos arbóreos	nº de plantas /ha	< 400 = 0 > 400 e < 800 = 1 > 800 e < 1200 = 2 > 1200 = 3	1007	médio
Equitabilidade	Índice de Pielou (J')	J' < 0,5 – baixa = 1 0,5 < J' < 0,9 – média = 2 J' ≥ 1 – alta = 3	0,7787	médio
% de indivíduos/grupo sucessional	% de indivíduos P % de indivíduos NP	NP ≥ 40% e P ≤ 60% = 3 NP = P = 2 NP < 40% e P > 60% = 1	P = 41,67% NP = 58,33%	alto
Diversidade de funções sucessionais das espécies arbóreas	nº de indivíduos P nº de indivíduos NP	P > NP = 1 P ± NP = 2 P < NP = 3	P = 15 NP = 21	alto
Altura média dos indivíduos arbóreos (m) - h	Metros	h < 0,5 m = 0 0,5 < h < 1,0 = 1 1,0 < h < 2,0 = 2 h > 2,0 = 3	1,71	médio
<b>Confiabilidade</b>				
<b>Proteção, solo e ciclagem de nutrientes</b>				
Predação	% herbivoria	75 – 100% = 0 50 – 75% = 1 25 – 50% = 2 1 – 25% = 3	11 6 19 183	alto

P = Pioneira NP = Não Pioneira

Fonte: adaptado do protocolo de PIÑA-RODRIGUES et al. (2015).

Fonte: adaptado do trabalho de FERNANDES; FREITAS; PIÑA-RODRIGUES (2017).

Identificou-se maior números e espécies não pioneiras (NP) que pioneira (P) (21 e 15 consecutivamente). As espécies alóctones (espécies não originárias no sistema) foram de maior número no plantio do que as autóctones (32 e 7 consecutivamente).

### 3.3.3 Dispersão, Grupo Sucessional, Agente Dispersor e Origem do Propágulo

Em relação à síndrome de dispersão, verificou-se que a maioria das espécies identificadas foram classificadas como zoocóricas (19 espécies), seguida de anemocóricas (13 espécies), e de autocóricas (5 espécies). Entre as espécies zoocóricas os agentes dispersores foram classificados como aves e morcegos (16 e 3 espécies arbóreas consecutivamente). Outros animais silvestres também apareceram como agentes dispersores, como répteis e mamíferos (Tabela 3).

**TABELA 3:** Composição de espécies, Síndrome de dispersão, Agente dispersor, Grupo sucessional e Origem do propágulo (em relação ao plantio original).

Fonte: Autora

Nome Científico	Número de indivíduos	% de indivíduos	Síndrome de dispersão	Agente dispersor	Grupo sucessional	Origem do propágulo
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	1	0,43	zoocórica	aves	pioneira	alóctone
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	8	3,45	zoocórica	não identificado	pioneira	alóctone
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg.	1	0,43	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	2	0,86	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone
<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	2	0,86	autocórica	própria planta	não pioneira	autóctone
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	1	0,43	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	1	0,43	zoocórica	morcegos, macacos e aves	pioneira	alóctone
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	2	0,86	anemocórica	vento	não pioneira	autóctone
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	1	0,43	zoocórica	aves e mamíferos	pioneira	autóctone
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	2	0,86	zoocórica	aves	não pioneira	autóctone
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	1	0,43	autocórica	própria planta	pioneira	autóctone
<i>Croton urucurana</i> Baill.	1	0,43	autocórica	própria planta	pioneira	alóctone
<i>Erythrina verna</i> Vell.	1	0,43	autocórica	própria planta	não pioneira	alóctone
<i>Erythroxylum argentinum</i> O.E.Schulz	1	0,43	zoocórica	aves	não pioneira	alóctone
<i>Eugenia bimarginata</i> DC.	2	0,86	zoocórica	aves	não pioneira	alóctone

Nome Científico	Número de indivíduos	% de indivíduos	Síndrome de dispersão	Agente dispersor	Grupo sucessional	Origem do propágulo
<i>Eugenia klotzschiana</i> O.Berg	5	2,16	zoocórica	aves	não pioneira	alóctone
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	2	0,86	zoocórica	aves e peixes	pioneira	alóctone
<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	1	0,43	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	9	3,88	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	1	0,43	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	29	12,5	zoocórica	aves	pioneira	alóctone
<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	1	0,43	autocórica	própria planta	pioneira	autóctone
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	28	12,07	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone
<i>Moquiniastrum polymorphum</i> subsp. <i>ceanothifolium</i> (Less.) G. Sancho	57	24,57	anemocórica	vento	pioneira	alóctone
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	20	8,62	zoocórica	aves e mamíferos	pioneira	alóctone
myrtaceae 1	3	1,29	zoocórica	aves	não pioneira	alóctone
myrtaceae 2	2	0,86	zoocórica	aves	não pioneira	alóctone
myrtaceae 3	1	0,43	zoocórica	aves	não pioneira	alóctone
NI	2	0,86	-	-	-	alóctone
NI2	1	0,43	-	-	-	alóctone
<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	7	3,02	zoocórica	aves	não pioneira	alóctone
<i>Psidium guajava</i> L.	8	3,45	zoocórica	animais silvestres e gado	-	alóctone
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	1	0,43	anemocórica	vento	não pioneira	autóctone
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	7	3,02	zoocórica	aves	pioneira	alóctone
<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	2	0,86	zoocórica	lagarto, morcego e lobo-guará	pioneira	alóctone
<i>Solanum paniculatum</i> L.	12	5,17	zoocórica	aves e morcegos	pioneira	alóctone
<i>Terminalia</i> sp	1	0,43	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone

Nome Científico	Número de indivíduos	% de indivíduos	Síndrome de dispersão	Agente dispersor	Grupo sucessional	Origem do propágulo
<i>Terminalia triflora</i> (Griseb.) Lillo	1	0,43	anemocórica	vento	não pioneira	alóctone
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Sprengel) Vega & Dematteis	4	1,72	anemocórica	vento	pioneira	alóctone
<b>Total geral</b>	232	100				

### 3.3.4 Sanidade e Herbivoria

Em relação à sanidade dos regenerantes a maioria possuía folhas íntegras (total 212) mas verificou-se indivíduos totalmente sem as folhas (3). Em relação aos regenerantes com folhas íntegras, 66% não possuíam manchas ou deficiências (Tabela 4).

**TABELA 4:** Resultado da classificação de manchas e deficiências para os indivíduos arbóreos regenerantes em 2024.

Fonte: Autora

Parâmetros	Classificação de manchas e deficiências	Total de indivíduos para cada parâmetro
		3
Ausência - A	A	140
Presença - P	P	69
<b>Total geral</b>		<b>212</b>

Já em relação à classificação de predação das folhas ou herbivoria, a maioria dos indivíduos (86%) foram classificados como de baixa predação (parâmetro quantificado em 3). Salienta-se que 5,2% dos indivíduos foram classificados com altamente predado (classificação de 0). Teve a presença de indivíduos sem as folhas (4) (Tabela 5).

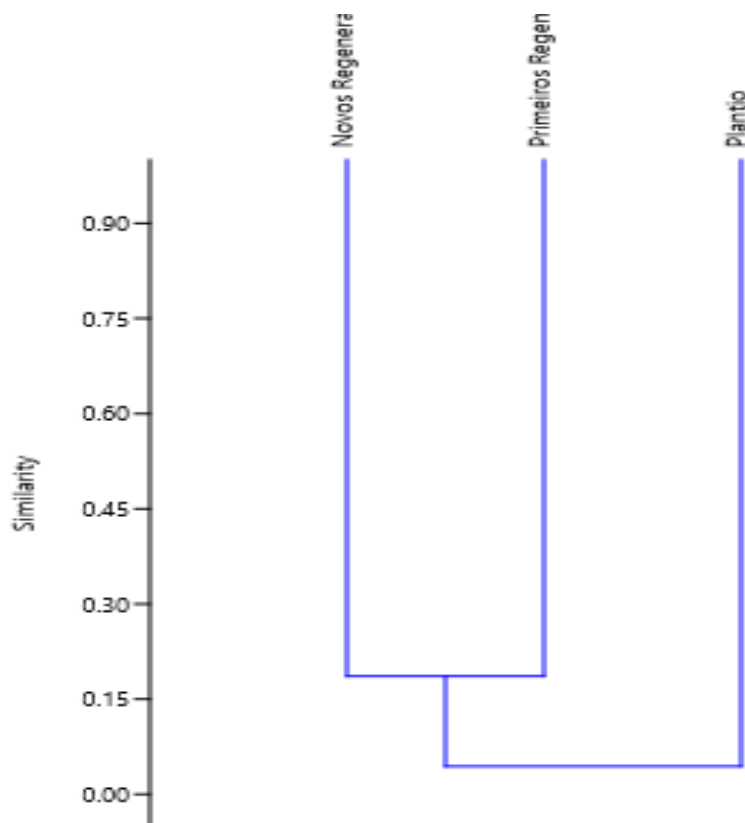
**TABELA 5:** Resultado da classificação de predação das folhas para os indivíduos regenerantes da área em 2024.

Fonte: Autora

Parâmetros	Classificação da Predação das folhas	Total de indivíduos para cada parâmetro
75 – 100% = 0	0	11
50 – 75% = 1	1	6
25 – 50% = 2	2	19
1 – 25% = 3	3	183
		4

### 3.3.5 Similaridade com os Fragmentos do Entorno

A análise de similaridade de Jaccard das espécies emergentes após o plantio por semeadura direta, com os primeiros regenerantes monitorados em 2020 e com os novos regenerantes monitorados neste trabalho em 2024, demonstra que os novos regenerantes são mais próximos aos primeiros regenerantes do que do plantio inicial (Figura 4). Os valores da similaridade de Jaccard variam de 0 a 1, onde 0 indica que não há similaridade e 1 indica que os conjuntos são idênticos. O valor numérico da similaridade de Jaccard dos novos regenerantes em relação aos primeiros regenerantes foi de 0,1860 e o valor dos novos regenerantes com as espécies plantadas foi de 0,0877.

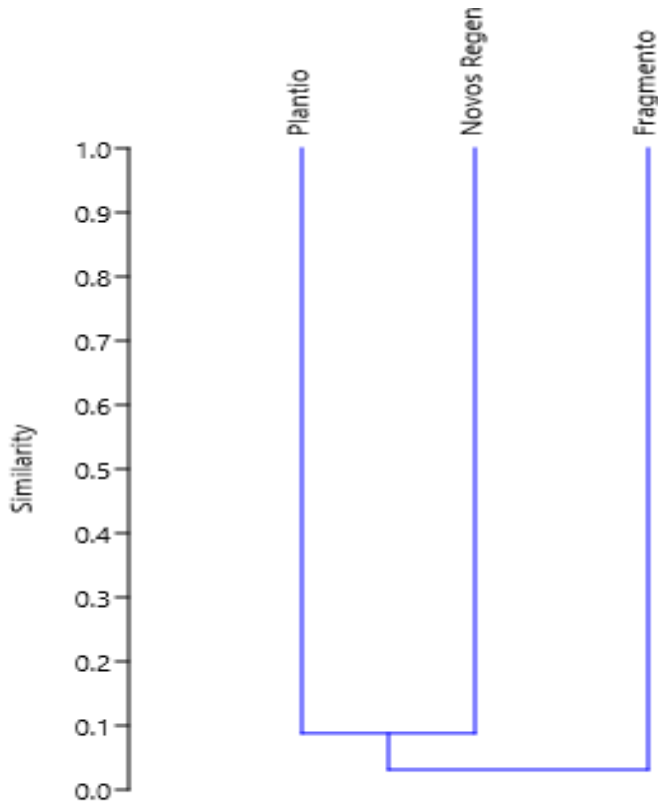


**Figura 4:** Resultado da análise de similaridade de Jaccard dos novos regenerantes monitorados em 2024, em relação aos primeiros regenerantes (2020) e as espécies arbóreas emergentes após plantio por semeadura direta.

Fonte: Autora

A análise de similaridade de Jaccard que foi feita com os a lista dos indivíduos arbóreos remanescentes que se localizam dentro do *Campus* da UFSCar de Sorocaba e que se localizam

próximos ao plantio, demonstrou que os novos regenerantes são mais similares ao próprio plantio, do que dos fragmentos remanescentes do entorno (Figura 5). O valor numérico da similaridade de Jaccard dos novos regenerantes em relação ao plantio foi de 0,0877 e em relação ao fragmento do entorno foi de 0,0353.



**Figura 5:** Resultado da análise da similaridade de Jaccard dos novos regenerantes monitorados em 2024 em relação às espécies emergentes do plantio por semeadura direta e aos fragmentos remanescentes.

Fonte: Autora

### 3.4 DISCUSSÃO

A área de estudo, após o dia da semeadura direta foi monitorada por 720 dias em 160 parcelas amostradas nos 5 blocos do plantio. Os indivíduos emergentes foram numerados, plaqueados, identificados e coletados dados de altura em (cm) e DAS em (mm). Para a seleção de espécies foram selecionadas espécies pioneiras e não pioneiras visando o rápido crescimento e favorecimento do processo natural de sucessão ecológica. A seleção de espécies também buscou a atração de fauna (zoocóricas), de espécies fixadoras de N<sub>2</sub> (adubadoras) e aporte de biomassa (senescentes). Ao final do monitoramento 23 espécies germinaram no plantio, e outras 12 espécies apareceram como regenerantes iniciais (PIOTROWSKI, 2020).

### 3.4.1 Espécies Regenerantes

A família das Myrtaceae foi a predominante deste estudo assim como no trabalho de (PIAIA et al., 2020, 2021) e divergindo um pouco de outros estudos de área de floresta atlântica onde a família Fabaceae aparece em primeiro lugar de modo mais abundante já que ela favorece a diversidade de espécies em florestas tropicais (PIMENTEL et al., 2018; SILVA et al., 2019).

A família Myrtaceae é uma das mais ricas em composição florística de espécies arbóreas em regiões de floresta estacional semidecidual (WAGNER; FIASCHI, 2020). Verificou-se que as famílias Myrtaceae, Fabaceae e Anacardiaceae foram as de maior representatividade, o que também foi visto no trabalho de HOLANDA et al. (2010). O predomínio das espécies da família Myrtaceae na área de estudo é um indicador positivo porque elas são zoocóricas e possuem a capacidade de atrair a fauna contribuindo para a dispersão dos propágulos.

A espécie *Moquiniastrum polymorphum* subsp. *ceanothifolium* (Less.) G. Sancho foi a mais frequente na área de estudo e ela ocorre no sudeste e sul do Brasil e é frequente em ambientes campestres, bordas de mata e beira de rios e estradas (FREITAS et al., 2020).

Em levantamento florístico também realizado no *Campus* da UFSCar de Sorocaba a espécie *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. também foi identificada no monitoramento. Nesse sentido, as espécies *Moquiniastrum polymorphum* subsp. *ceanothifolium* (Less.) G. Sancho e *Machaerium acutifolium* Vogel não constavam na lista, confirmando a hipótese de espécies alóctone vindas como propágulos (SCHIEVENIN et al., 2012). Estas duas espécies também não apareceram na relação das espécies presentes nos fragmentos remanescentes identificados por KORTZ et al. (2014) reforçando a hipótese destas espécies serem alóctones.

O bloco 1 teve predominância da espécie *Machaerium acutifolium* que pertence à família Fabaceae. Esta família é altamente representativa em florestas estacionais semidecíduais nas regiões do sul, sudeste e centro-oeste do Brasil (BARBOSA et al., 2021). Já o bloco 6 não teve nenhum tratamento de solo para o plantio florestal, como descompactação, calagem, adubação verde e outros tratamentos (diferentemente do histórico dos outros blocos). A espécie predominante neste bloco foi a *Solanum paniculatum* da família Solanaceae, que é herbácea e não nativa. Inclusive essa espécie foi altamente mensurada em áreas em processo de restauração na regeneração passiva no mesmo bioma (VINHA et al., 2011).

### 3.4.2 Indicadores de Funcionalidade Ecológica

Neste estudo, os resultados para a diversidade, riqueza e classificação por grupo sucessional foram classificadas como alta e a densidade de indivíduos arbóreos e equitabilidade

aqui foram intermediárias. Diferindo um pouco de um estudo em plantio de restauração florestal de 5 anos em floresta estacional semidecidual no Estado de São Paulo. Onde os resultados dos atributos de estabilidade e resiliência para os indicadores de diversidade foram medianos ( $H' = 2,00$ ), riqueza alta (55 espécies), densidade de indivíduos arbóreos alta (4164), índice de equitabilidade de Pielou baixo ( $J' = 0,48$ ) e número de indivíduos por grupo sucessional com boa classificação ( $P = 45\%$  e  $NP = 55\%$ ) (FRANCISCO et al., 2022).

Esses resultados foram classificados como altos para diversidade, riqueza e grupo sucessional, e classificação intermediária para equitabilidade. Quando comparados com outro estudo também do Estado de São Paulo em plantio de 5 anos, tanto a diversidade ( $H' = 3,11$ ), riqueza (32) e densidade de indivíduos arbóreos (2000) como foi considerada alta, intermediária para equitabilidade ( $J' = 0,897$ ) e classificação baixa por grupo sucessional ( $NP = 38,3\%$  e  $P = 61,7\%$ ) (GALETTI et al., 2018).

O total de espécies regenerantes foi de 39, sendo classificado como alto. Segundo DURIGAN; SUGANUMA; MELO (2016), em florestas de mata atlântica, e com idades semelhantes, o valor esperado para esse indicador é de 14 espécies. Em relação ao indicador densidade de regenerantes arbóreos, o número de espécies para um plantio de seis anos é de 1965 e valor crítico 674, neste estudo, o valor foi 1007. Por mais que não seja um valor expressivo, estava acima do valor crítico (DURIGAN; SUGANUMA; MELO, 2016). É importante salientar que um indicador não deve ser avaliado isoladamente e sim em conjunto porque nem todos vão ser iguais para todos os plantios de restauração mesmo com idades semelhantes.

### **3.4.3 Dispersão, Grupo Sucessional, Agente Dispersor e Origem do Propágulo**

Neste plantio houve predomínio de espécies zoocóricas, seguidas de anemocóricas e autocóricas, e o número de não pioneiras foi maior que o de pioneiras. Estes resultados são semelhantes com restauração por plantio de FOCKINK et al. (2022), em estágio inicial em Santa Catarina. Aliar esses indicadores de dispersão pioneira e não pioneira configura-se como ótima estratégia de avaliação de chegada de propágulos e conseqüentemente transição para estágio secundário.

Salienta-se que a distância entre fragmentos está diretamente relacionada aos indicadores de dispersão. Foi verificado em um estudo no Pará, que a abundância e a riqueza de espécies foram negativamente correlacionadas com a distância das parcelas às fontes de sementes, e diminuiriam acentuadamente em parcelas de regeneração natural e nucleação em distâncias maiores de 250 metros (CRUZ et al., 2020).

A presença de espécies pioneiras, cuja dispersão se dá por anemocoria, colaboram na dispersão de propágulos e aumento de regenerantes, o que é comum em florestas em estágio inicial de sucessão (RECH et al., 2015).

O maior número de espécies zoocóricas e anemocóricas garante a qualidade e continuidade do processo de sucessão ecológica. As espécies anemocóricas garantem a dispersão por longas distâncias e as zoocóricas garantem a dispersão da chuva de sementes que é realizada pela fauna atraída pelos frutos (ZANGALLI et al., 2023). Isso até que as copas predominem no dossel superior diminuindo o trânsito de propágulos do centro dos fragmentos. Nesse momento, outros processos de dispersão criam habitats protegidos para as espécies de sucessão média. Assim, essas espécies “pioneiras” são gradualmente substituídas por espécies de sucessão média ou tardia (ABBAS et al., 2019). Estas espécies formadoras do dossel florestal têm a característica de terem maior proporção de zoocóricas (LEYSER et al., 2012).

A presença de espécies zoocóricas, indica a disponibilidade de recursos para os animais como potenciais dispersores, o que pode contribuir para a sustentabilidade do plantio restaurado a médio e longo prazo (MOURA; NUNES; ABREU, 2022). O número de espécies não pioneiras no sistema de restauração e a riqueza de espécies zoocóricas foram avaliadas como indicadores importantes para atestar a recuperação de ecossistemas tropicais (MASSI; CHAVES; TAMBOSI, 2022). Estas informações mostram um cenário positivo para a área de estudo uma vez que ela possui valor alto de regenerantes de espécies zoocóricas e com várias espécies não pioneiras. Das 39 espécies regenerantes, 19 são zoocóricas e 21 espécies são não pioneiras.

O principal agente dispersor de propágulos neste estudo foram as aves e a principal família de espécies arbóreas foram as Myrtaceae. As espécies da família Myrtaceae são reconhecidas por produzirem frutos comestíveis para a avifauna, o que é importante para a manutenção e recomposição de florestas no sul e sudeste do Brasil (ZAMA et al., 2012).

Neste plantio florestal, a presença de espécies alóctones foi maior que o de espécies autóctones (82% ou 32 espécies). Este padrão é diferente do que foi visto no trabalho de BARBOSA et al. (2021), onde o padrão foi a predominância de espécies autóctones detectadas em análise da chuva de sementes na fase inicial da colonização e formação da estrutura florestal.

#### **3.4.4 Sanidade e Herbivoria**

Os regenerantes monitorados neste plantio tiveram em sua maioria ausência de manchas e deficiências e baixa predação das folhas, indicando a boa sanidade dos regenerantes. A sanidade do sistema foi medida pela taxa de herbivoria e ela indicou a capacidade de resiliência

do sistema. Este atributo tem como princípio de que áreas mais biodiversas tendem a ter menor taxa de predação, uma vez que a pouca diversidade de espécies favorece a localização desta por predadores aumentando a herbivoria (FONSECA, 2011). Diante do exposto, as altas taxas de herbivoria são consideradas prejudiciais para a regeneração natural (PIOVESAN et al., 2013).

### **3.4.5 Similaridade com os Fragmentos do Entorno**

Os resultados de similaridade evidenciaram que os novos regenerantes foram mais similares com o primeiro monitoramento de regenerantes do que com o próprio plantio. Inclusive os novos regenerantes são divergentes ao próprio plantio, mas estavam mais distantes dos fragmentos do entorno ou menos similares. Em outras palavras, a área de estudo recebeu propágulos do próprio plantio com mais frequência do que do entorno. É importante lembrar que este plantio florestal é jovem, com 6,5 anos no momento do monitoramento, é provável que com o passar dos anos esta área evolua para ficar com características mais próximas aos fragmentos do entorno.

A abundância dos propágulos e a dispersão de sementes está relacionada com o tamanho e a distância de outros remanescentes florestais da paisagem. Quanto maior for a área remanescente melhor será a distribuição de propágulos para a área de restauração (SUGANUMA; TOREZAN; DURIGAN, 2018). Em um estudo que também analisa a similaridade florística entre grupos de plantios florestais verificou que florestas de restauração mais próximas em distância formam um grupo mais próximo e com poucas espécies em comum quando comparadas com a área de referência que tem maior número de espécies (LONDE; MESSIAS; SOUSA, 2021).

Respondendo a hipótese inicial, a estratégia do plantio por semeadura direta com foco no recobrimento da área proporcionando a entrada de novas espécies oriundas do entorno foi bem-sucedida. É um plantio jovem ainda e que já está caminhando para um estágio de floresta secundária dado ao aumento das espécies não pioneiras. Acredita-se que nos próximos monitoramentos este plantio vai ter aumento da diversidade de espécies e vai ficar mais parecido com os fragmentos remanescentes do entorno. Em linhas gerais este plantio foi bem planejado na estratégia de semeadura direta e está adquirindo os atributos ideais de estabilidade, resiliência e confiabilidade que tendem a aumentar com o desenvolvimento do plantio.

### 3.5 CONCLUSÕES

O plantio florestal estudado estava em estágio mediano de diversidade e com boa sanidade dos regenerantes. As principais fontes de regeneração natural vieram do próprio plantio e menos dos fragmentos do entorno. Em relação à similaridade das espécies semeadas com a regeneração natural elas ainda eram mais parecidas com o próprio plantio.

É importante ressaltar que as áreas remanescentes são essenciais na restauração florestal por conta de que são fontes de propágulos com maior diversidade de espécies e ajudam muito no processo da evolução bem-sucedida das áreas de restauração.

### REFERÊNCIAS

- ABBAS, S.; NICHOL, J. E.; JHANG, J.; FISCHER, G. A. The accumulation of species and recovery of species composition along a 70 year succession in a tropical secondary forest. **Ecological Indicators**, v. 106, p. 105524, 1 nov. 2019.
- ALMEIDA, L.S. **Insumos tecnológicos em sementes florestais para uso em restauração via semeadura direta**. Tese de Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis da Universidade Federal de São Carlos – Sorocaba, 2020.
- APG IV. An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, p. 1-20, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/boj.12385> Acesso em: 26 de janeiro de 2025.
- BARBOSA, K. C.; CATHARINO, E. L. M.; BARBOSA, L. M.; COUTO, H. T. Z.; JUNIOR, N. A. S. Potencial de regeneração natural de um plantio compensatório realizado em unidade de conservação urbana sob forte pressão antrópica. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 786–807, 1 jun. 2021.
- BARBOSA, L. M.; SHIRASUNA, R. T.; LIMA, F. C. D.; ORTIZ, P. R. T.; BARBOSA, C.B.; BARBOSA, T.C. Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do Estado de São Paulo. São Paulo: **Instituto de Botânica**, 2017. E-book. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/wp-content/uploads/sites/235/2019/10/lista-especies-rad-2019.pdf>. Acesso em: outubro 2024.
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; ALEXIS BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, n. 180214, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30375988/> Acesso em: 26 de janeiro de 2025.
- BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; KAGEYAMA, P. Y.; NAVE, A. G.; GANDARA, F. B.; BARBOSA, L. M.; TABARELLI, M. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 455-470, 2010.
- BRASIL. **Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017**. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, 24 jan. 2017. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/decreto/d8972.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d8972.htm) Acesso em: 8 de janeiro de 2025.

- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: **Embrapa Florestas**, 2003-2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/publicacoes/especies-arboreas-brasileiras> Acesso em: 18 de novembro de 2024.
- CORRÊA, L. S.; CARDOSO-LEITE, E.; CASTELLO, A. C. D.; COELHO, S.; ALESSANDRA; KORTZ, R.; VILLELA, F. N. J.; KOCH, I. Estrutura, composição florística e caracterização sucessional em remanescente de floresta estacional semidecidual no sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 799-809, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/vggq6KhNdzpSgNTgPHpCcxkh/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 8 de novembro de 2024.
- CRUZ, C.; BENAYAS, J. M. R.; FERREIRA, G. C.; RIBEIRO, S. S. Tree communities in three-year-old post-mining sites under different forest restoration techniques in the Brazilian Amazon. **Forests**, v. 11, n. 5, 1 maio 2020.
- DURIGAN, G.; ENGEL, V. L.; TOREZAN, J. M.; MELO, A. C. G.; MARQUES, C. M.; MARTINS, S. V.; REIS, A.; SCARANO, F. R. Normas jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas? **Revista Árvore**, v.34, n. 3, p. 471-485, 2010.
- DURIGAN, G.; SUGANUMA, M. S.; MELO, A. C. G. Valores esperados para atributos de florestas ripárias em restauração em diferentes idades. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 44, n. 110, p. 463–474, 1 jun. 2016.
- FERNANDES, G. E.; FREITAS, N. P.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Cobertura florestal ou função ecológica: a eficácia da restauração na bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), n. 44, p. 127–145, jun. 2017.
- FOCKINK, G. D.; ZANGALLI, C.; OLIVEIRA, E.; LUZ, M. S.; GOES, M. P.; SILVA, A. C.; FLORIANI, M. M. P.; NICOLETTI, M. F.; KANIESKI, M. R. Ecological indicators of passive restoration in South Brazil's Atlantic Forest areas with former *Pinus taeda* L. plantations. **Ecological Engineering**, v. 179, 1 jun. 2022.
- FONSECA, V. H. C. **Seleção de indicadores ecológicos para a avaliação de planos de restauração de áreas degradadas**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em “Diversidade Biológica e Conservação”) – Universidade Federal de São Carlos *Campus* Sorocaba, 2011. Disponível em: [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1511/FONSECA\\_Vitor\\_2011.pdf?sequencia=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1511/FONSECA_Vitor_2011.pdf?sequencia=1&isAllowed=y) Acesso em: 4 de janeiro de 2024.
- FRANCISCO, B. S.; VIVEIROS, E.; DITRA, F. B.; FILHO, P. C. S.; MARTINS, R. P.; PASSARETTI, R. A.; SILVA, J. M. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Band planting: a new restoration technique under the multi-criteria analysis of ecological functionality. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 57, p. 1–11, mar. 2022.
- FREITAS, K. A.; CHRIST, A. L.; RITTER, M. R.; MIOTTO, S. T. S. Moquiniastrium (asteraceae, gochnatioideae, gochnatieae) in southern brazil. **Rodriguesia**, v. 71, 2020.
- FREITAS, M. G.; RODRIGUES, S. B.; CAMPOS-FILHO; E. M.; CARMO, G. H. P.; VEIGA, J. M.; JUNQUEIRA, R. G. P.; VIEIRA, D. L. M. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 224–232, 15 abr. 2019.

- GALETTI, G.; SILVA, J. M. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIOTROWISKI, I. Análise multicriterial da estabilidade ecológica em três modelos de restauração florestal. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), v. 48, n. 48, p. 142–157, jun. 2018.
- GAZELL, A. C. F.; RIGHI, C. A.; STAPE, J. L.; CAMPOE, O. C. Riqueza de espécies arbóreas ¿juega un rol clave en la restauración forestal? **Bosque**, v. 33, n. 3, p. 245–248, 2012.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T. RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis, version 2.17. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, 9 pp, 2001. Disponível em: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf) Acesso em: 19 de novembro de 2024.
- HOLANDA, C.; A.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C.; SANTOS, M. S.; MELO, L. S. M. S.; PESSOA, M. M. L. Estrutura de espécies arbóreas sob efeito de borda em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Pernambuco. **Revista Árvore**, v.34, n. 1, p. 103-114, 2010.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL. Banco de dados meteorológicos para o ano de 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos> Acesso em: 8 de novembro de 2024.
- KORTZ, A. R.; COELHO, S.; CASTELLO, A. C. D.; CORRÊA, L. S.; LEITE, E. C.; KOCH, I. Wood vegetation in Atlantic rain forest remnants in Sorocaba (São Paulo, Brazil). **Check List**, v. 10, n. 2, p. 344-354, 2014.
- LEYSER, G.; ZANIN, E. M.; BUDKE, J. C.; MÉLO, M. A.; HENKE-OLIVEIRA, C. Regeneração de espécies arbóreas e relações com componente adulto em uma floresta estacional no vale do rio Uruguai, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 74–83, 2012.
- LONDE, V.; SOUSA, H. C.; MESSIAS, M. C. T. B. Monitoring of forest components reveals that exotic tree species are not always invasive in areas under ecological restoration. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 10, 1 set. 2020.
- LONDE, V.; MESSIAS, M. C. T. B.; SOUSA, H. C. Vegetation restoration is associated with increasing forest width. **New Forests**, v. 52, n. 1, p. 129–144, 1 jan. 2021.
- MARTINS, R.; ANTONINI, Y. Can pollination syndromes indicate ecological restoration success in tropical forests? **Restoration Ecology**, v. 24, n. 3, p. 373–380, 1 maio 2016.
- MASSI, K. G.; CHAVES, R. B.; TAMBOSI, L. R. Simple indicators are good proxies for ecological complexity when assessing Atlantic Forest restoration success. **Restoration Ecology**, v. 30, n. 3, 1 mar. 2022.
- MOURA, C. J. R.; NUNES, M. F. S. Q.; ABREU, R. C. R. A novel monitoring protocol to evaluate large-scale forest restoration projects in the tropics. **Tropical Ecology**, v. 63, n. 1, p. 113–121, 1 mar. 2022.
- PIAIA, B. B.; ROVEDDER, A. P. M.; PROCKNOW, D.; CAMARGO, B. Assessment of ecological indicators in restoration by applied nucleation with different ages. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 3, p. 1512–1534, 2021.
- PIAIA, B. B.; ROVEDDER, A. P. M.; PROCKNOW, D.; GAZZOLA, M. D.; STEFANELLO, M. M. Natural regeneration as an indicator of ecological restoration by applied nucleation and passive restoration. **Ecological Engineering**, v. 157, 1 out. 2020.

PIMENTEL, D.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C.; SILVA, M. I. O.; SANTOS, J. N. B.; PINTO, A. V. F. The Effect of Different Levels of Inclusion for Forest Restoration Assessment. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 23, n. 5, p. 1–10, 7 jun. 2018.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; SILVA, J. M. S.; PIOTROWSKI, I.; LOPES, G. G. G. R.; FRANCO, F.; ALVARES, S. **Protocolo de Monitoramento da Funcionalidade Ecológica de Áreas de Restauração**. Sorocaba, 2015.

PIOTROWSKI, I. **Probabilidade de sucesso de espécies florestais na semeadura direta em restauração ecológica**. Tese de doutorado em Ciências ambientais Universidade Federal de São Carlos – Sorocaba, 2020.

PIOVESAN, J. C. et al. Ecological processes and the landscape scale as guidelines for ecological restoration projects. **Revista CAITITU - aproximando pesquisa ecológica e aplicação**, v. 1, n. 1, p. 57–72, 30 set. 2013.

RECH, C. C. C.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; SCHIMALSKI, A. B.; ANSOLIN, R. D.; BENTO, M. A.; MISSIO, F. F.; LOEBENS, R. Avaliação da restauração florestal de uma APP Degradada em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 194–203, 2015.

REFLORA. Flora e Funga do Brasil. Re flora - Herbário Virtual. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/> Acesso em 19/11/2024.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1242–1251, jun. 2009.

ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: **Instituto Florestal**, v. 1. p. 118, 2017. (inclui Mapas). Disponível em: [https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/wp-content/uploads/sites/234/2017/11/Livro\\_Solos1.pdf](https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/wp-content/uploads/sites/234/2017/11/Livro_Solos1.pdf) Acesso em: 8 de novembro de 2024.

RUIZ-JAEN, M. C.; AIDE, T. M. Restoration success: How is it being measured? **Restoration Ecology**, set. 2005.

SÃO PAULO. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Resolução n. 32, de 3 de abril de 2014**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 5 abr. 2014. Disponível em: [https://smastr16.blob.core.windows.net/sare/sites/202/2022/11/res-sma-2014\\_32-diretrizes-para-restauracao-ecologica.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/sare/sites/202/2022/11/res-sma-2014_32-diretrizes-para-restauracao-ecologica.pdf) Acesso em: 8 de janeiro de 2025.

SÃO PAULO. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Portaria CBRN 01/2015 – Anexo I – Protocolo de monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 17 jan. 2015. Disponível em: [https://smastr16.blob.core.windows.net/sare/sites/202/2022/11/2015\\_1\\_15\\_procotolo\\_monitoramento\\_restauracao\\_vfinal.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/sare/sites/202/2022/11/2015_1_15_procotolo_monitoramento_restauracao_vfinal.pdf) Acesso em: 8 de janeiro de 2025.

SARTORELLI, P. A. R.; FILHO, E. M. C. Guia de plantas da regeneração natural do Cerrado e da Mata Atlântica. São Paulo: **Agroicone**, 2017. Disponível em: [https://www.agroicone.com.br/wp-content/uploads/2019/11/INPUT\\_Agroicone\\_Guia-de-Plantas-da-Regeneracao-Natural-do-Cerrado-e-da-Mata-Atlantica.pdf](https://www.agroicone.com.br/wp-content/uploads/2019/11/INPUT_Agroicone_Guia-de-Plantas-da-Regeneracao-Natural-do-Cerrado-e-da-Mata-Atlantica.pdf) Acesso em: 2 de novembro de 2024.

- SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic Forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2319–2331, 23 set. 2015.
- SCHIEVENIN, D. F.; TONELLO, K. C.; SILVA, D. A.; VALENTE, R. O. A.; FARIA, L. C.; THIERSCHI, C. R. MONITORAMENTO DE INDICADORES DE UMA ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM SOROCABA-SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal Re.C.E.F.**, v. 19, 2012.
- SILVA, M. I. O.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; GRUGIKI, M. A. Composition and Diversity of Areas Under Restoration Process From the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 9, p. 154, 30 jun. 2019.
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION – SER. **International Primer on Ecological Restoration. Version 2**. 2004. Disponível em: [https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER\\_Primer/ser-primer-portuguese.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-portuguese.pdf) Acesso em: 8 de janeiro de 2025.
- SOROCABA. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Plano Municipal de Recuperação e Preservação da Mata Atlântica**. 2014. Disponível em: <https://pmma.etc.br/mdocs-posts/pmma-sorocaba-sp/> Acesso em: 8 de novembro de 2024.
- SUDING, K. Understanding successes and failures in restoration ecology. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 42, jan. 2011.
- SUGANUMA, M. S.; TOREZAN, J. M. D.; DURIGAN, G. Environment and landscape rather than planting design are the drivers of success in long-term restoration of riparian Atlantic Forest. **Applied Vegetation Science**, v. 21, n. 1, p. 76–84, 1 jan. 2018.
- VINHA, D.; ALVES, L. F.; ZAIDAN, L. B. P.; GRAMBONE-GUARATINI, M. T. The potential of the soil seed bank for the regeneration of a tropical urban forest dominated by bamboo. **Landscape and Urban Planning**, v. 99, n. 2, p. 178–185, 28 fev. 2011.
- WAGNER, M. DE A.; FIASCHI, P. Myrtaceae from the Atlantic Forest subtropical highlands of São Joaquim National Park (Santa Catarina, Brazil). **Rodriguesia**, v. 71, 2020.
- WORTLEY, L.; HERO, J. M.; HOWES, M. Evaluating ecological restoration success: A review of the literature. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 5, p. 537–543, set. 2013.
- ZAMA, M. Y.; BOLOVENTA, Y. R.; CARVALHO, E. S.; RODRIGUES, D. R.; ARAUJO, C. G.; SORACE, M. A. F.; LUZ, D. G. Florística e síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas no Parque Estadual Mata São Francisco, PR, Brasil. **Hoehnea**, v. 39, n. 3, p. 369-378, 2012.
- ZANGALLI, C.; FOCKINK, G. D.; ALMEIDA, B. R.; OLIVEIRA, E.; GOES, M. P.; NICOLETTO, M. F.; FLORIANI, M. M. P.; KANIESKI, M. R. Ecological indicators of forest regeneration in areas of Araucaria Forest in South Brazil. **Ecological Engineering**, v. 194, 1 set. 2023.

#### **4 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Os indicadores de monitoramento ambiental de florestas restauradas são muito importantes para detectar problemas e acompanhar a evolução. O monitoramento da diversidade e estrutura foi muito presente na literatura usada no desenvolvimento da pesquisa.

A incorporação de outras tecnologias para monitoramento de áreas restauradas também poderia ser uma alternativa para ajudar e facilitar o processo de análise de campo.

A restauração de áreas degradadas é uma atividade muito complexa e que depende de muitos fatores como o planejamento da área do plantio, seleção de sementes e acompanhamento do desenvolvimento.

Para que a restauração atinja os objetivos de aumento da diversidade e melhoria dos serviços ecossistêmicos é fundamental a preservação de áreas remanescentes para dispersão de propágulos e por contar com maior número de espécies.

## REFERÊNCIAS

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; KAGEYAMA, P. Y.; NAVE, A. G.; GANDARA, F. B.; BARBOSA, L. M.; TABARELLI, M. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 455-470, 2010.

BRASIL. **Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017**. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, 24 jan. 2017. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/decreto/D8972.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D8972.htm). Acesso em: 17 de fevereiro de 2025.

GATICA-SAAVEDRA, P.; ECHEVERRÍA, C.; NELSON, C. R. Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 6, p. 850–857, 1 nov. 2017.

LÓPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O.; ASTIER, M. Evaluating the sustainability of complex socioenvironmental systems. The MESMIS framework. **Ecological indicators**, v. 2, n. 12, p. 135- 148, 2002.

McDONALD, T.; GANN, G. D.; JONSON, J.; DIXON K. W. **International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts**. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C, 2016. Disponível em: [https://seraustralasia.com/wheel/image/SER\\_International\\_Standards.pdf](https://seraustralasia.com/wheel/image/SER_International_Standards.pdf) Acesso em: 12 de fevereiro de 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização de Alimentação e Agricultura (FAO)**, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/197897-d%C3%A9cada-para-restaura%C3%A7%C3%A3o-de-ecossistemas-%E2%80%9C%C3%A9-hora-de-unir-esfor%C3%A7os%E2%80%9D#:~:text=Por%20isso%2C%20o%20per%C3%ADodo%20de,ecossistemas%20em%20todo%20o%20mundo>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2025.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; SILVA, J. M. S.; PIOTROWSKI, I.; LOPES, G. G. G. R.; FRANCO, F.; ALVARES, S. **Protocolo de Monitoramento da Funcionalidade Ecológica de Áreas de Restauração**. Sorocaba, 2015.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. Pacto pela restauração da Floresta Atlântica. Piracicaba: **Instituto Bio Atlântica**, 2009. 264 p. Disponível em: <http://www.lerf.esalq.usp.br/divulgacao/produtos/livros/pacto2009.pdf> Acesso em: 12 de fevereiro de 2025.

ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar a restauração ecológica de ecossistemas. **Oecologia Australis**, v. 24, n. 3, p. 550–565, 15 set. 2020.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. **The SER international primer on ecological restoration**, 2004. Disponível em: [https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER\\_Primer/ser-primer-portuguese.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-portuguese.pdf) Acesso em: 12 de fevereiro de 2025.

## APÊNDICE – A

ID	Título do Artigo	Ano de publicação	País	Tipo de artigo
1	Assessment of the restoration of a degraded semi-humid evergreen broadleaf forest ecosystem by combined single-indicator and comprehensive model method	2010	China	artigo científico
2	A multi-criterion index for the evaluation of local tropical forest conditions in Mexico	2010	México	artigo científico
3	Tree species richness, does it play a key role on a forest restoration plantation?	2012	Brasil	artigo científico
4	Initial effects of restoring natural forest structures in Estonia	2013	Estonia	artigo científico
5	Influence of ecological group composition, plantation spacing and arrangement in the restoration of riparian forest on reservoir shores	2016	Brasil	artigo científico
6	Valores esperados para atributos de florestas ripárias em restauração em diferentes idades Expected values for attributes of riparian forests undergoing restoration at different ages	2016	Brasil	artigo científico
7	Cobertura florestal ou função ecológica: a eficácia da restauração na bacia do rio Sorocaba e médio tietê	2017	Brasil	artigo científico
8	The accumulation of species and recovery of species composition along a 70 year succession in a tropical secondary forest	2019	China	artigo científico
9	Environment and landscape rather than planting design are the drivers of success in long-term restoration of riparian Atlantic forest	2017	Brasil	artigo científico
10	The Effect of Different Levels of Inclusion for Forest Restoration Assessment	2018	Brasil	artigo científico
11	Composition and diversity of areas under restoration process from the Brazilian Atlantic Forest.	2019	Brasil	artigo científico

12	Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years	2019	Brasil	artigo científico
13	Análise multicriterial da estabilidade ecológica em três modelos de restauração florestal	2018	Brasil	artigo científico
14	Evaluating restoration success of a 40-year-old urban forest in reference to mature natural forest	2018	Japão	artigo científico
15	Integrating indices to evaluate the effect of artificial restoration based on different comparisons in the Wanglang Nature Reserve.	2018	China	artigo científico
16	Estoque de serapilheira em uma floresta em processo de restauração após mineração de bauxita.	2018	Brasil	artigo científico
17	Vegetation restoration is associated with increasing forest width	2020	Brasil	artigo científico
18	Produção e acúmulo de serapilheira em áreas de restauração florestal no Mato Grosso do Sul, Brasil	2020	Brasil	artigo científico
19	Effects of forest restoration techniques on community diversity and aboveground biomass on area affected by mining tailings in Mariana, Southeastern Brazil	2020	Brasil	artigo científico
20	Functional composition enhances aboveground biomass stock undergoing active forest restoration on mining tailings in Mariana, Brazil	2021	Brasil	artigo científico
21	Vegetation structure and biodiversity recovery in 19-year-old active restoration plantations in a Neotropical cloud forest	2021	México	artigo científico
22	Forest restoration methods, seasonality, and penetration resistance does not influence aboveground biomass stock on mining tailings in Mariana, Brazil	2021	Brasil	artigo científico
23	Avaliação de indicadores ecológicos na restauração por plantio em núcleo com diferentes idades.	2021	Brasil	artigo científico

24	Tree communities in three-year-old post-mining sites under different forest restoration techniques in the Brazilian Amazon	2020	Brasil	artigo científico
25	Avaliação de projeto de restauração florestal utilizando dois procedimentos metodológicos	2015	Brasil	artigo científico
26	Regeneration and development of native plant species in restored mountain forests, Hainan Island, China	2014	China	artigo científico
27	Crescimento de espécies nativas tropicais de diferentes grupos ecológicos em área degradada na Amazônia brasileira	2020	Brasil	artigo científico
28	Trajectoria da restauração florestal de áreas mineradas ao longo de 17 anos em unidade de conservação na Amazônia	2020	Brasil	artigo científico
29	Spontaneous plant recolonization on reclaimed post-coal mining sites in East Kalimantan, Indonesia: Native versus alien and succession progress	2020	Indonésia	artigo científico
30	The potential of secondary forests to restore biodiversity of the lost forests in semi-deciduous West Africa	2021	Costa do Marfim	artigo científico
31	Chasing success: A review of vegetation indicators used in riparian ecosystem restoration monitoring	2024	Portugal	artigo de revisão
32	Evaluation of Ecological Function Restoration Effect for Degraded Natural Forests in Xiaoxinganling, China	2024	China	artigo científico
33	Productive forest recovery in legal reserve area: a case study in Eastern Amazon.	2024	Brasil	artigo científico

34	Evaluating Survival Rate and Growth Performance of Multipurpose Species Raised Under Billion Tree Afforestation Project, Pakistan.	2024	Paquistão	artigo científico
35	Restoration trajectories and ecological thresholds during planted urban forest successional development	2022	Nova Zelândia	artigo científico
36	Functional trajectory for the assessment of ecological restoration success	2022	Brasil	artigo científico
37	Efeitos da cobertura do solo na abundância e riqueza de regenerantes em tratamentos de restauração no bioma Mata Atlântica	2024	Brasil	artigo científico
38	Forest restoration after alluvial gold mining can recover vegetation structure. A case study in Colombia	2022	Colômbia	artigo científico
39	Band planting: a new restoration technique under the multi-criteria analysis of ecological functionality	2022	Brasil	artigo científico
40	How does the forest structure, diversity and species composition of a restored rainforest 25 years after planting compare with that of mature rainforest?	2023	Austrália	artigo científico
41	Forest structure and recovery in selectively logged forests in Sarawak, Malaysia	2023	Malásia	artigo científico
42	Litterfall, vegetation structure and tree composition as indicators of functional recovery in passive and active tropical cloud forest restoration	2021	México	artigo científico
43	Monitoring ecological restoration of riparian forest: Is the applied nucleation effective ten years after implementation in the Pampa?	2023	Brasil	artigo científico
44	Natural regeneration as an indicator of ecological restoration by applied nucleation and passive restoration	2020	Brasil	artigo científico
45	Ecological indicators of forest regeneration in areas of Araucaria Forest in South Brazil	2023	Brasil	artigo científico
46	Restoration of riparian ecosystems posterior to tin mining in the Central Amazon: Restoration indicators and selection of suitable species for planting	2023	Brasil	artigo científico

47	Ecological indicators of passive restoration in South Brazil's Atlantic Forest areas with former <i>Pinus taeda</i> L. plantations	2022	Brasil	artigo científico
48	Dominant ecological processes and plant functional strategies change during the succession of a subtropical forest	2023	China	artigo científico
49	Square-grid sampling to address the vegetation patterns of declined Mediterranean forest ecosystems	2024	Itália	artigo científico
50	Quantifying restoration success via natural recovery in forested areas following pipeline construction	2023	Canadá	artigo científico
51	Vegetation communities and identification of indicator species in the riparian areas of Zabarwan mountain range in the Kashmir Himalaya	2023	Paquistão	artigo científico
52	Old-growth forests in the Dinaric Alps of Bosnia-Herzegovina and Montenegro: a continental hot-spot for research and biodiversity	2024	Itália	artigo científico
53	More than trees: Stand management can be used to improve ecosystem diversity, structure and functioning 20 years after forest restoration in drylands	2023	Portugal	artigo científico
54	Changes of vegetation in coniferous monocultures in the context of conversion to mixed forests in 30 years – Implications for biodiversity restoration	2023	Alemanha	artigo científico
55	Forest restoration thinning accelerates development of old-growth characteristics in the coastal Pacific Northwest, USA	2023	Estados Unidos	artigo científico
56	A novel monitoring protocol to evaluate large-scale forest restoration projects in the tropics	2021	Brasil	artigo científico
57	The biodiversity of birch stands in agricultural landscapes of Estonia is associated with past land use, restoration approach, site and landscape variables	2022	Estônia	artigo científico

58	Shannon tree diversity is a surrogate for mineland rehabilitation status	2021	Brasil	artigo científico
59	Simple indicators are good proxies for ecological complexity when assessing Atlantic Forest restoration success	2021	Brasil	artigo científico
60	Does restoration success vary with tree size under restoration plantings and regrowth forests?	2022	Uganda	artigo científico
61	Evidences of homogenization in species assemblages of restored mixed <i>Shorea robusta</i> forest stands of Nepal	2021	Nepal	artigo científico
62	Applicability of monitoring protocols developed for active restoration projects in the evaluation of passive restoration of a subtropical riparian forest in Brazil	2021	Brasil	artigo científico
63	Reference and comparison values for ecological indicators in assessing restoration areas in the Atlantic Forest	2020	Brasil	artigo de revisão
64	Passive restoration in Araucaria Forest: useful ecological indicators in monitoring successional advancement in exotic tree plantation landscapes	2020	Brasil	artigo científico
65	Complementarity of indigenous and western scientific approaches for monitoring forest state	2018	Nova Zelândia	artigo científico
66	A Framework for Quantifying Resilience to Forest Disturbance	2019	Estados Unidos	artigo científico
67	Are litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon	2018	Brasil	artigo científico
68	Passive restoration of mixed Ombrophilous Forest a decade after forest plantation removal in the South of Brazil	2018	Brasil	artigo científico
69	Natural regeneration of a mixed shoulder forest area.	2020	Brasil	artigo científico

70	Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review	2017	Chile	artigo de revisão
71	Monitoring of forest components reveals that exotic tree species are not always invasive in areas under ecological restoration	2020	Brasil	artigo científico
72	Plant traits as indicators of recovery of reclaimed wellsites in forested areas: Slow but directional succession trajectory	2020	Canadá	artigo científico
73	Litterfall as an indicator of productivity and recovery of ecological functions in a rehabilitated riparian forest at das velhas river, southeast brazil	2016	Brasil	artigo científico
74	Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems	2015	Brasil	artigo científico
75	Assessing restoration outcomes in light of succession: Management implications for tropical riparian forest restoration	2016	Estados Unidos	artigo científico
76	Key plant indicators for monitoring areas undergoing restoration: A case study at the Das Velhas River, southeast Brazil	2017	Brasil	artigo científico
77	Can pollination syndromes indicate ecological restoration success in tropical forests?	2016	Brasil	artigo científico
78	Factors affecting species diversity of plant communities and the restoration process in the loess area of China	2010	China	artigo científico