

ISABELLA APARECIDA FONSECA BERTOLETI

**Restauração ecológica em áreas naturais e urbanas no bioma da Mata Atlântica: uma revisão sistemática PRISMA visando reflexão sobre a aplicabilidade no cenário de mudanças climáticas**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Ambientais, da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2023

ISABELLA APARECIDA FONSECA BERTOLETI

**Restauração ecológica em áreas naturais e urbanas no bioma da Mata Atlântica: uma revisão sistemática PRISMA visando reflexão sobre a aplicabilidade no cenário de mudanças climáticas**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Ambientais, da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais

ORIENTADORA: DRA. CATARINA CARVALHO NIEVOLA

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECAS E MAPOTECAS**

B546r	<p>Bertoleti, Isabella Aparecida Fonseca Restauração ecológica em áreas naturais e urbanas no bioma da Mata Atlântica: uma revisão sistemática PRISMA visando reflexão sobre a aplicabilidade no cenário de mudanças climáticas / Isabella Aparecida Fonseca Bertoleti - - São Paulo, 2023. 99p.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Pesquisas Ambientais da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, 2023. Bibliografia.</p> <p>1. Restauração ecológica. 2. Mata Atlântica. 3. Mudanças climáticas. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 581.526</p>
-------	--

## BANCA EXAMINADORA

Dra. Catarina Carvalho Nievola (Orientadora)

Dra. Marisa Domingos

Dr. Gilberto Fisch

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SEMIL-SP) e Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pela infraestrutura e suportes fornecidos para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado que possibilitou a execução deste trabalho (Processo nº 162029/2021-7).

À minha orientadora Dra. Catarina Carvalho Nievola por tudo que foi ensinado, pela paciência e compreensão e por ser uma inspiração e exemplo de dedicação à ciência.

Aos meus colaboradores Dr. Eduardo Pereira Cabral Gomes, Dra. Nádia Gilma Beserra de Lima e Dr. Mauricio Lamano Ferreira por apoio e colaboração desde a elaboração do projeto até a finalização do presente trabalho.

Ao meu amigo, parceiro, colega de trabalho, graduação e agora colega Mestre Denner Rodrigues por ser o iniciador de toda essa jornada em minha vida e por, principalmente, me acompanhar nela e em todas as outras jornadas que compartilhamos – principalmente a da vida, sendo um amigo tão presente. Sem o apoio nada disso seria possível.

Aos meus colegas de grupo Gabriel, Maria Gessi, Gabriela, Beatriz e Barbara por todas as sugestões em nossas reuniões.

A todos meus amigos, em especial à Ana Júlia, Carol, Júlia, Larissa, Laura, Bárbara, Frederico, Rodrigo, Pedro, Danilo e João, que sempre me apoiaram e incentivaram.

Aos meus pais Donato e Janete e meu irmão Pedro Henrique por serem sempre meu Lar, meu Porto-Seguro e por tudo que me proporcionaram.

À minha melhor amiga, Luísa, por todo apoio e por acreditar em mim ao longo de todo o processo.

E, finalmente, a todos os professores que passaram ao longo de minha vida e me tornaram a pessoa que sou hoje, em especial ao meu querido professor Savio que ao longo do meu Ensino Médio me estimulou a seguir a área que sempre sonhei. Espero que, mesmo em outro plano, esteja acompanhando e se orgulhando por cada conquista minha e por, principalmente, ser quem me incentivou quando ninguém fez.

**Muito obrigada!**

## RESUMO

Entre os séculos XVIII e XIX ocorreu na Inglaterra um processo que impactaria o globo terrestre permanentemente – a Revolução Industrial. Marcada por um período de intenso crescimento econômico, avanços tecnológicos e urbanização, a Revolução Industrial trouxe consigo impactos ambientais que perduram até os dias atuais. A urbanização destrói ecossistemas florestais, não somente, de maneira direta, com transformação em áreas naturais em áreas urbanas, mas também de maneira indireta, aumentando a demanda por recursos naturais e emitindo inúmeros gases e compostos poluentes. Tais gases poluentes são relatados como os principais agravantes do Efeito Estufa, promovendo o Aquecimento Global – uma das variáveis mais preocupantes quando o assunto é mudanças climáticas. Previsões otimistas estimam um aumento entre 1,5°C e 1,9°C na temperatura até o final do século. Considerando o potencial biológico das florestas em mitigar os efeitos das mudanças climáticas graças ao sequestro de carbono realizado pelas espécies vegetais, restaurar fragmentos florestais e urbanos se mostra como necessidade. Voltando os olhos para o Brasil, o bioma que mais sofreu os efeitos degradantes da urbanização foi a Mata Atlântica, considerado um dos 25 *hotspots* mundiais de biodiversidade e, atualmente, já tendo perdido mais de 93% da sua área original em território brasileiro. Tendo esse cenário em vista, a restauração ecológica na Mata Atlântica é essencial para promover equilíbrio climático, ecológico e social – mas além disso, é necessário para promover restaurações tolerantes às previsões das mudanças climáticas. Portanto, buscar compreender as respostas fisiológicas das plantas utilizadas para restauração ecológica e, ademais, organizar dados sobre o que vem sendo feito em outros biomas em termos de restauração pode revelar tendências para adaptar modelos de restauração ecológica no bioma da Mata Atlântica frente às mudanças climáticas previstas. Os resultados deste trabalho indicam espécies que podem ser tolerantes às futuras alterações climáticas e outras sensíveis, contribuindo para direcionamento de procedimentos de restauração ecológica. Outrossim, foram identificadas tendências em projetos de restauração ecológica urbana por meio do diagnóstico e monitoramento da área restaurada, fato já contemplado pela resolução vigente no Estado de São Paulo para restaurações naturais no bioma da Mata Atlântica. Por fim, esta revisão pode provocar reflexões para realização de trabalhos futuros que avaliem a possibilidade de realização de restauração ecológica tolerante às mudanças climáticas em áreas florestais e urbanas

para gerar conectividade entre tais ambientes e, dessa forma, criar subsídios para programas de conservação da biodiversidade.

**Palavras-chave:** Restauração ecológica; Mata Atlântica; Mudanças climáticas; Urbanização; Espécies tolerantes; Desenvolvimento Sustentável.

## ABSTRACT

Between the 18th and 19th centuries, a process occurred in England that would permanently impact the globe – the Industrial Revolution. Marked by a period of intense economic growth, technological advancements, and urbanization, the Industrial Revolution brought with it environmental impacts that persist to this day. Urbanization destroys forest ecosystems, not only directly by transforming natural areas into urban ones, but also indirectly by increasing the demand for natural resources and emitting numerous gases and pollutants. Such pollutants are reported as the main contributors to the Greenhouse Effect, promoting Global Warming – one of the most concerning variables when it comes to climate change. Optimistic predictions estimate a temperature increase between 1.5°C and 1.9°C by the end of the century. Considering the biological potential of forests to mitigate the effects of climate change through carbon sequestration by plant species, restoring forest and urban fragments proves to be a necessity. Turning our attention to Brazil, the biome most affected by the degrading effects of urbanization is the Atlantic Forest, considered one of the 25 global biodiversity hotspots and having already lost over 93% of its original area in Brazilian territory. With this scenario in mind, ecological restoration in the Atlantic Forest is essential to promote climatic, ecological, and social balance – but moreover, it is necessary to promote restorations tolerant to the predictions of climate change. Therefore, seeking to understand the physiological responses of plants used for ecological restoration and, furthermore, organizing data on what has been done in other biomes in terms of restoration may reveal trends to adapt ecological restoration models in the Atlantic Forest biome to climate change predictions. The results of this work indicate species that may be tolerant to future climate changes and others that are sensitive, contributing to the direction of ecological restoration procedures. Furthermore, trends in urban ecological restoration projects were identified through the diagnosis and monitoring of the restored area, a fact already addressed by the current resolution in the State of São Paulo for natural restorations in the Atlantic Forest biome. Finally, this review may provoke reflections for future work evaluating the possibility of conducting climate change-tolerant ecological restoration in forest and urban areas to generate connectivity between such environments and thereby provide support for biodiversity conservation programs.

**Keywords:** Atlantic Forest; Climate change; Ecological restoration; Sustainable development; Tolerant species; Urbanization

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Número de publicações entre 1990 e 2021 em relação à relatórios do IPCC e acordos globais .....	13
<b>Figura 2</b> – Parque Estadual POMAR Urbano ( <a href="https://arquivos.ambiente.sp.gov.br/portalnovomedia/publicacoes/pomar_urbano/PomarUrbano.pdf">https://arquivos.ambiente.sp.gov.br/portalnovomedia/publicacoes/pomar_urbano/PomarUrbano.pdf</a> ) .....	17
<b>Figura 3</b> – Modelo Fluxograma PRISMA .....	20

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**CPI:** Índice Abrangente de Poluição

**ESP:** Padrão de Segurança Ecológica

**IPCC:** Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas

**MSPA:** Análise de Padrão Espacial Morfológico

**LCP:** Caminho de Menor Custo

**LEK:** Conhecimento Ecológico Local

**PRISMA:** Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	12
1.1. Restauração e mudanças climáticas .....	12
1.2. Restauração ecológica em ambientes naturais na Mata Atlântica .....	15
1.3. Restauração ecológica urbana no bioma Mata Atlântica .....	16
2. OBJETIVOS .....	19
2.1. Objetivos específicos .....	19
3. MÉTODO PRISMA .....	20
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
CAPÍTULO 1: Perspectivas de Resiliência das Espécies Tropicais em Projetos de Restauração: Uma Revisão PRISMA .....	25
CAPÍTULO 2: Global Models for Ecological Restoration in Urban Environments: A PRISMA Review .....	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS .....	80
ANEXOS .....	82

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

## 1.1. Restauração e mudanças climáticas

Entre os séculos XVIII e XIX, na Inglaterra, iniciou-se um processo que impactaria permanentemente todo o globo terrestre: a Revolução Industrial. O período foi marcado por uma rápida urbanização, crescimento econômico, transformações sociais, avanços tecnológicos e, finalmente, impactos ambientais complexos que perduram até os dias atuais. O crescimento e expansão de áreas urbanas, pode impactar os ecossistemas florestais diretamente, transformando espaços naturais em áreas urbanas, por meio da remoção de árvores, destruição de ecossistemas, resultando em perda de habitat para muitas espécies de plantas e animais. Além disso, a urbanização também impacta indiretamente os ecossistemas, já que com esse processo há um aumento na demanda por recursos naturais, tal qual um aumento na emissão de inúmeros gases e compostos poluentes para o ar atmosférico, água e solo (Barret, 2009).

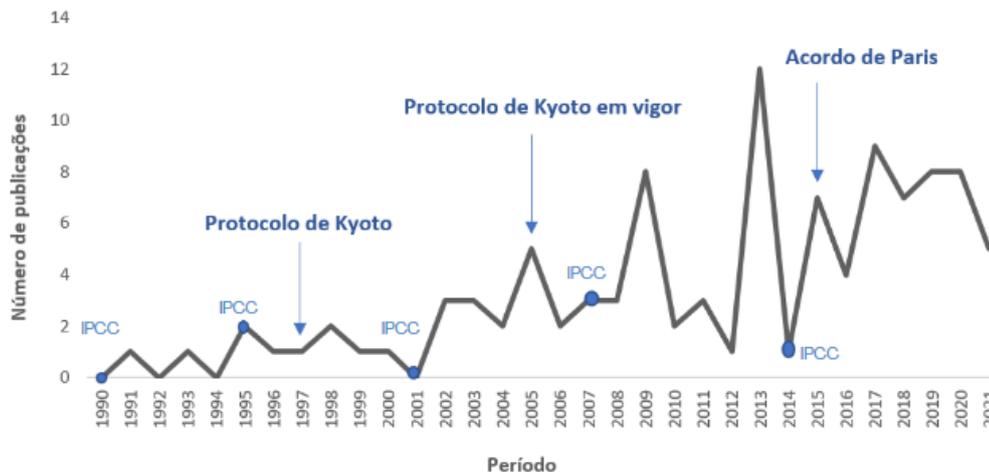
O ciclo de carbono que, por exemplo, até a Revolução Industrial, mostrava-se balanceado, hoje já traz preocupações importantes para a Ciência – o aumento gradativo dos níveis de carbono atmosférico por um período prolongado pode promover o agravamento do aquecimento global (CO<sub>2</sub>-EARTH, 2016; IPCC, 2022). Com isso, o cenário de mudanças climáticas, que já é uma realidade desde a Revolução Industrial, se mostrará cada vez com maior frequência e intensidade, segundo modelos globais (IPCC, 2023). Tais mudanças nas condições ambientais podem influenciar o desenvolvimento, crescimento e, até mesmo, a sobrevivência de inúmeras espécies vegetais – sendo mais um fator de risco para os ecossistemas (Taiz & Zeiger, 2017; IPCC, 2021).

Trabalhando com cenários otimistas, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas estima um aumento de 1,5°C a 1,9°C até o final desse século. Segundo publicação recente do Grupo de Trabalho 1 (IPCC, 2023), as mudanças no clima estão sendo cada vez mais generalizadas, rápidas e intensificadas, não sendo registradas temperaturas tão altas no planeta em 6.500 anos e, segundo os resultados apresentados, as atividades humanas – incluindo a urbanização - inequivocadamente estão promovendo essa aceleração nas alterações climáticas.

Tal intensificação faz com que não somente as temperaturas se elevem, como também eventos climáticos severos sejam cada vez mais frequentes, tais como ondas de

calor, chuvas fortes e secas mais severas. Considerando determinadas mudanças, outro dado em destaque na última publicação (IPCC, 2023) é de que as florestas tropicais, por terem evoluído ao longo dos 200 mil anos em um clima razoavelmente estável, são mais sensíveis ao aumento de temperatura, podendo significar um risco às espécies presentes nesses ambientes.

Revisões bibliográficas, como os relatórios gerados pelo Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas, são importantes para revelar tendências e, ainda, direcionar forças da Ciência para o estudo de espécies para compreender suas respostas ecofisiológicas frente aos possíveis futuros cenários climáticos, aumentando o número de publicações voltadas para a área, principalmente, em relação ao aumento de temperatura e secas. A Figura 1 mostra um levantamento sobre os principais relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e de grandes acordos climáticos, como o Protocolo de Kyoto (1997) e Acordo de Paris (2015) em relação à publicação de trabalhos sobre espécies indicadas para restauração ecológica que foi realizada no período de concepção deste trabalho. Verifica-se que o número de publicações nos anos seguintes da publicação do relatório do IPCC tem um aumento significativo, podendo ilustrar o impacto dos relatórios na Ciência.



**Figura 1-** Número de artigos publicados entre 1990 e 2021 em relação à relatórios do IPCC e Acordos Globais.

Recuperar fragmentos florestais degradados e, até mesmo, destruídos pela urbanização se mostra cada vez mais necessário para o reestabelecimento, principalmente, do equilíbrio ecológico e, conseqüentemente, climático do planeta, tendo em vista que as plantas são capazes de auxiliar a conter o aquecimento global, graças ao sequestro de carbono, dentre outras funções. No entanto, os fragmentos florestais

restantes se apresentam, muitas vezes, circundados por áreas urbanas, fato que prejudica a chegada e saída natural de propágulos, o que acaba por reduzir a diversidade de espécies (Tabarelli et al., 2005; Rodrigues et al., 2009).

Sendo assim, a restauração ecológica tem sido considerada uma possível via para recuperar os fragmentos, a qual é definida como ‘processo de assistência à recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído’ (SER, 2004). O processo de restauração é constituído por um conjunto de práticas que envolvem aspectos políticos, ecológicos, tecnológicos, sociais e culturais (Hobbs, 2005), visando o reestabelecimento do equilíbrio ecológico na área restaurada, colaborando para a conservação da biodiversidade – um dos maiores desafios do século (Primack & Rodrigues, 2001). Atualmente no Brasil, especificadamente no Estado de São Paulo, o processo é regulamentado pela resolução SMA nº32 de 03 de abril de 2014, modificada pela SMA nº 73, de 16 de setembro de 2020.

A aceleração de ações de restauração nos próximos 10 anos, ocorreu por uma ação liderada pelo programa da ONU para o Meio AMBIENTE (PNUMA) e pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) denominada ‘*Década Global da Restauração de Ecossistemas*’ (2021-2030) – momento decisivo para que ocorra um movimento global voltado para recuperar florestas degradadas através de incentivos políticos e capacidade técnica antes que sejam enfrentadas as consequências catastróficas da degradação (Viani *et al.*, 2022).

A restauração ecológica requer, além do monitoramento e avaliação constante das comunidades, a fim de garantir a eficácia das ações para regenerar o ecossistema, uma mudança de atitudes, comportamentos e políticas para que a sustentabilidade seja adotada (Rodrigues et al., 2009; Montenegro, 2017), sobretudo em contextos intensos de urbanização com incentivos diretos à cultura consumista para o desenvolvimento econômico (Martine et al., 2012).

No Brasil, há uma lacuna entre o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade, principalmente considerando que a urbanização do país ocorreu de forma complexa e desigual (Montenegro, 2017). A região sudeste, certamente, é a que mais sofreu os efeitos da urbanização, com algumas das maiores e mais importantes áreas metropolitanas do país (Pasternak & Bógus, 2011). Nessa região existe, predominantemente, o bioma da Mata Atlântica - originalmente com uma extensão de cerca de 1.300.000 km<sup>2</sup> (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 1998) e considerado um dos 25 *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), fruto da variação

latitudinal e de altitudes, além da presença de diversas tipologias vegetais associadas, tais como Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual (IBGE, 1992; Sette de Almeida, 2016) tornando a mesma mais rica em diversidade de espécies que a Amazônia (Colombo & Joly, 2010).

Apesar dessa grandiosidade e importância, a Mata Atlântica vem sendo fragmentada, geralmente em processos associados aos ciclos econômicos brasileiros e à expansão urbana (Sette de Almeida, 2016), já tendo perdido mais de 93% da sua área original em território brasileiro (Myers *et al.*, 2000). Com isso, a biodiversidade desse bioma já está comprometida, em que possivelmente muitas espécies já foram extintas antes mesmo de serem descritas pela ciência (Sette de Almeida, 2016), além das conhecidas que foram extintas em nível de espécies e de populações (Mori *et al.*, 1991).

Considerando a Mata Atlântica como um bioma que mantém uma relação muito próxima com grandes centros urbanos, o processo de restauração ecológica se mostra de forma importante, não somente em fragmentos florestais, mas também em fragmentos urbanos, a fim de integrar o desenvolvimento econômico com o meio ambiente, e de promover a recuperação e conservação dessas áreas.

Organizar dados científicos sobre as tendências de restauração pode revelar tendências de modelos e espécies tolerantes, principalmente, em um cenário de mudanças climáticas para que, dessa forma, as restaurações sejam resistentes. A metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses - <http://www.prisma-statement.org/>) oferece a estrutura necessária para que tais dados científicos possam ser organizados de maneira a indicar as tendências e diagnosticar o estado da arte do assunto.

## **1.2 Restauração ecológica em ambientes naturais na Mata Atlântica**

A sucessão ecológica apresenta diferentes etapas em que espécies distintas se estabelecem no local degradado – geralmente se iniciando pelo grupo pioneiro, secundário e, finalmente, tardio. As mudanças que ocorrem no ambiente são promovidas pelo grupo anterior de sucessão, tornando o ambiente habitável para o próximo grupo e, dessa forma, facilitando as mudanças sucessionais (Matthes & Martins, 1996). Tais etapas são levadas em consideração, inclusive, na resolução vigente no Estado de São Paulo (SMA nº32 de 03 de abril de 2014, modificada pela SMA nº 73, de 16 de setembro de

2020) em que a orientação indica que a escolha de espécies contemple o processo de sucessão ecológica, com grupos pioneiros e secundários (iniciais, tardios e climáticas), com o máximo de 40% para cada grupo. Para uma restauração ecológica efetiva, considera-se os grupos funcionais e sucessionais, relações ecológicas e a diversidade de espécies (SER, 2004).

As plantas apresentam capacidade para ajustar o metabolismo frente as alterações das condições ambientais (Berry & Bjoërkman, 1980). Contudo, informações compiladas sobre as características fisiológicas de tolerância das plantas utilizadas em restauração podem promover reflexões sobre o uso de determinadas espécies no processo, considerado, atualmente, bem-sucedido. Contudo, os procedimentos atuais podem ser ainda otimizados para que o ambiente restaurado sobreviva às alterações climáticas. Portanto, a questão deste trabalho é: “Será que a floresta restaurada sobreviverá no cenário futuro, considerando que tais mudanças climáticas estão ocorrendo de forma mais rápida e intensa?”. Naturalmente, responder a essa questão é complexo, entretanto, reunir características fisiológicas relacionadas à tolerância das espécies utilizadas em restauração poderá fornecer indicações sobre a capacidade de sobrevivência destas, contribuindo para reconstrução de áreas resilientes às alterações climáticas.

Segundo levantamento realizado em estudo preliminar, foi observada a tendência em utilizar espécies nativas para restauração ecológica, mas o questionamento ainda existe: “Quais dessas espécies se mostram tolerantes às mudanças climáticas previstas?”.

Dessa forma, é possível adaptar as indicações de espécies para restauração ecológica de modo a selecionar as que se mostrem tolerantes às mudanças climáticas previstas para o globo, inclusive, não somente para ambientes naturais, mas também para fragmentos urbanos de Mata Atlântica, considerando que é um bioma amplamente afetado pelo processo de urbanização.

### **3.3 Restauração ecológica urbana no bioma Mata Atlântica**

Promover cidades e comunidades sustentáveis é um objetivo presente na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – demonstrando a importância e a preocupação em atingir ecossistemas resilientes nas cidades. No Brasil, uma das referências de restauração ecológica urbana é o Projeto Pomar Urbano, administrado pela Coordenadoria de Parques

e Parcerias da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente ([https://arquivos.ambiente.sp.gov.br/portalnovomedia/publicacoes/pomar\\_urbano/PomarUrbano.pdf](https://arquivos.ambiente.sp.gov.br/portalnovomedia/publicacoes/pomar_urbano/PomarUrbano.pdf)), criado em 1999 para promover a regeneração ambiental das margens do rio Pinheiros na cidade de São Paulo. Apenas em 2019 o projeto iniciou uma etapa que contava com a reintrodução de espécies nativas e raras da Mata Atlântica, a fim de reproduzir a dinâmica que ocorre na floresta tropical através do uso de espécies que promovem conforto térmico, diminuem necessidade de manutenção e favorecem o retorno de aves (Parque Estadual Pomar Urbano, 2023).



**Figura 2-** Parque Estadual POMAR Urbano

([https://arquivos.ambiente.sp.gov.br/portalnovomedia/publicacoes/pomar\\_urbano/PomarUrbano.pdf](https://arquivos.ambiente.sp.gov.br/portalnovomedia/publicacoes/pomar_urbano/PomarUrbano.pdf)).

Atualmente existem modelos de restauração ecológica urbana para guiar tal prática a fim de que a mesma seja efetiva nos diferentes biomas (Hobbs & Harris, 2001). Entretanto para a Mata Atlântica, tal estudo é pouco relatado em publicações internacionais. Considerando que cada bioma depende de uma prática individualizada, há necessidade de identificar quais espécies apresentam o potencial biológico de serem tolerantes às condições em um fragmento degradado - principalmente nos centros urbanos em que as condições climáticas e concentrações de poluentes são diferentes do ambiente natural. Nesse contexto, estudos de revisão sistemática se mostram como uma possível via para diagnosticar tais práticas e, assim, subsidiar futuras restaurações ecológicas no ambiente urbano, permitindo uma reflexão sobre os resultados práticos desses modelos e sua viabilidade. Acrescentando à busca por modelos urbanos descritos na literatura, a investigação de quanto esses trabalhos incluem a preocupação com as respostas das

plantas às mudanças climáticas, contribuiriam sobremaneira para o estabelecimento de modelos tolerantes às alterações climáticas em regiões tropicais.

De modo a tornar a revisão sistemática replicável e manter a transparência dos caracteres de inclusão e exclusão do estudo, a metodologia PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (<http://www.prismastatement.org/>) mostra-se como a opção mais indicada para a compreensão do leitor sobre os caminhos que direcionaram à conclusão.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi buscar relatos sobre restaurações ecológicas a fim de compreender tendências de modelos de restauração voltados para áreas naturais e urbanas da Mata Atlântica, visando a resiliência às alterações climáticas.

### **2.1. Objetivos específicos:**

- Reunir dados sobre as características fisiológicas presentes em espécies utilizadas para recuperação de áreas degradadas de ambientes naturais do bioma da Mata Atlântica, compreendendo suas tolerâncias;

- Relacionar as características funcionais das espécies quanto à sua tolerância frente às mudanças climáticas previstas pelo IPCC;

- Compreender como os trabalhos estão distribuídos em pesquisas envolvendo aspectos ecológicos e fisiológicos;

- Compreender como os trabalhos estão distribuídos em escala temporal e geográfica;

- Reunir dados sobre restaurações ecológicas mundiais para ambientes urbanos, buscando tendências e modelos para restauração de tais ambientes a fim de subsidiar futuras políticas públicas de restauração urbana para ambientes complexos sujeitos a alterações climáticas.

### 3. MÉTODO PRISMA

O desenvolvimento deste estudo seguiu o guia “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses” (<http://www.prisma-statement.org/>) que conta com a descrição de busca através de um fluxograma (*Figura 1*) e um *checklist* que indica cada item da revisão.

A busca por publicações foi conduzida por meio da base de dados Web of Science (<https://webofscience.com>), atualizada em março de 2023. As palavras-chave utilizadas em cada uma das buscas estão descritas nos capítulos I e II. Capítulos de livros foram excluídos nessa busca, tais como artigos que não estivessem em inglês. Não houve limite de data para buscar as publicações. Todos os artigos selecionados para revisão foram lidos na íntegra para compreensão e, posteriormente, passaram por uma análise textual.

PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only

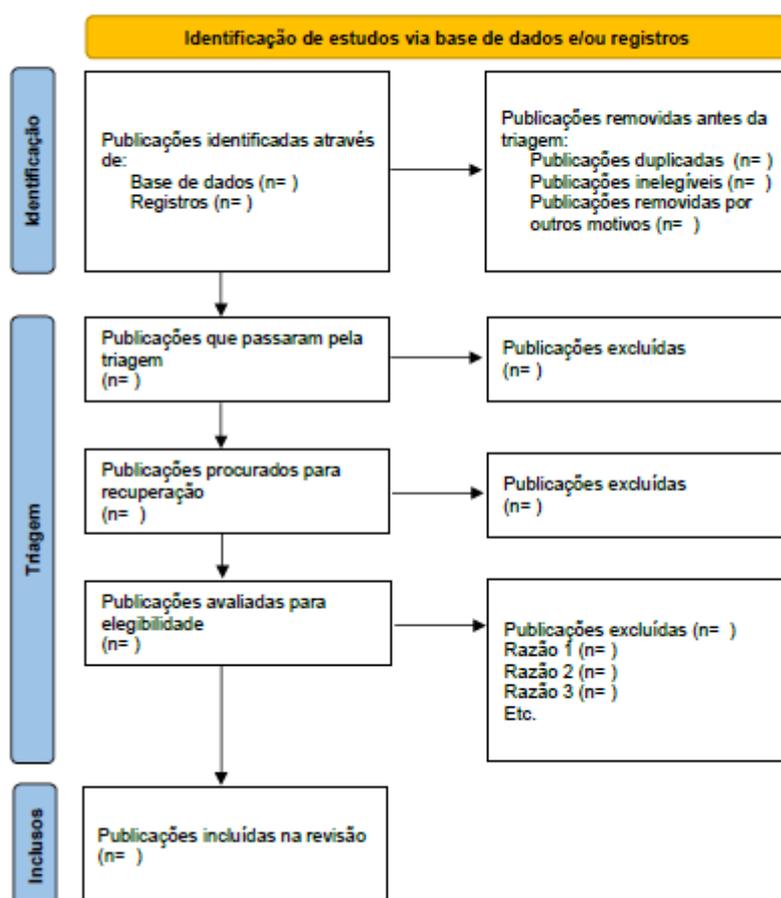


Figura 3- Modelo Fluxograma PRISMA.

As análises textuais foram realizadas utilizando o software Iramuteq (R 4.1.3) para buscar tendências e correlações nos textos incluídos na revisão. Os resumos de todos os artigos foram formatados de forma a excluir todos os artigos, preposições e pronomes, resultando em um resumo constituído, principalmente, por verbos e substantivos. Para a compreensão das coocorrências entre as palavras do texto e, dessa forma, identificar a conexidade entre os termos (Camargo & Justo, 2013), foi realizada a análise de similitude.

A análise de similitude produz imagens a partir da biblioteca *Igraph* do software R a fim de possibilitar a ligação entre as palavras do *corpus* textual a fim de identificar os temas de importância a partir da coocorrência entre as palavras e suas ligações (Salviati, 2023).

As tabelas contendo todos os artigos analisados em ambos capítulos está presente nos anexos dessa dissertação, tal qual o *Checklist PRISMA*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barret, S. **The coming global climate-technology revolution.** Journal of Economic Perspectives.v. 23, n.2, p. 53-75. 2009.

Berry, J. & Bjorkman, O. **Resposta fotossintética e adaptação à temperatura em plantas superiores.** Annu. Rev. Plant Physiol. 31, 491-543, 1980

**Biomass | IBGE.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html>>.

Camargo, B. V. & Justo, A.a M.. **IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais.** Temas psicol., Ribeirão Preto , v. 21, n. 2, p. 513-518, dez. 2013 . Disponível em <[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-389X2013000200016&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X2013000200016&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 21 ago. 2023. <http://dx.doi.org/10.9788/TP2013.2-16>.

Colombo, A. F.; Joly, C. A. **Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change.** Brazilian Journal of Biology, v. 70, n. 3, p. 697–708, 1 out. 2010.

Hobbs, R.J. & Harris, J.A. 2001. **Restoration Ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millennium.** Restoration Ecology, 9 (2): 239-246.

Hobbs, R. J. 2005. **The future of restoration ecology: challenges and opportunities.** *Restoration Ecology*. 13: 239-241.

Instituto de Pesquisas Espaciais (Brasil). Adamantina, São Paulo. São José dos Campos: INPE, 1998.

IPCC (2023) **Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers.** In: **Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 36 pages. (in press). [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch). Accessed 8 jun. 2023

Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação: FAO no Brasil | **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Disponível em: <<https://www.fao.org/brasil/pt/>>.

Matthes, L. A. F.; Martins, F. R. **Conceitos em sucessão ecológica**. Revista Brasileira de Horticultura Ornamental, v. 2, n. 2, 14 maio 1996.

Martine, G. **The New Global Frontier: Urbanization, Poverty and Environment in the 21st Century**. [s.l.] Earthscan, 2012.

Montenegro, R. L. G. **Relações entre urbanização e meio ambiente: um panorama para os estados brasileiros**. Textos de Economia, v. 20, n. 1, p. 72, 13 nov. 2017.

Mori, S. A.; Boom, B. M.; France, E. T. **Distribution patterns and conservation of East Brazilian Coastal Forest Species**. *Buttonia*, vol. 33, n. 2, p. 233-245, Oct.-Dec. 1991.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. 6.ed. Porto Alegre:Artemed, 888p, 2017.

Tabarelli, M. et al. **Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes**. *Biological Conservation*, v. 143, n. 10, p. 2328-2340, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.005>

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo. **Resolução SMA 21, 21/11/2001**. São Paulo. 2001.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo. **Resolução SMA 32, 03/04/2014**. São Paulo. 2014.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo. **Resolução SMA 73, 16/09/2020**. São Paulo. 2020.

SER – Society for Ecological Restoration. 2004. **Science & Policy Working Group. *The SER International primer on ecological restoration***. <[http://www.ser.org/content/ecological\\_restoration\\_primer.asp](http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp)>.

SOS Mata Atlântica. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/>>.

Pasternak, S.; Maria, L.; Bógus, M. **Urbanização, meio ambiente e saúde em são paulo**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://mestrados.unit.br/psa/wp-content/uploads/sites/6/2011/08/urbaniza%C3%A7%C3%A3o-meio-ambiente-e-sa%C3%BAde-em-S%C3%A3o-Paulo.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

Parque Estadual Pomar Urbano. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cpp/pomar-urbano/>>.

PRISMA (2023) – **Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses**. <https://prisma-statement.org/>

PNUMA. UNEP - **UN Environment Programme**. Disponível em: <<https://www.unep.org/>>.

Primack, R.B.; Rodrigues, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Vida, 2001. 328 p.

Rodrigues, R. R. *et al.* **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.

Sette de Almeida, D. **Recuperação ambiental Mata Atlântica**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402.pdf>>.

Stott, P. **Earth's CO2 Home Page**. Disponível em: <<https://www.co2.earth/>>.

Viani, R. A. G. *et al.* **A década global da restauração de ecossistemas: Por que podemos nos dar bem com ela?** *Guia Universitário de Informações Ambientais*, v. 3, n. 1, p. 31–33, 20 ago. 2022.

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, 28 maio 2013.

## CAPÍTULO 1

### *Perspectiva do uso de espécies tropicais em projetos de restauração: Revisão PRISMA para indicar tolerância às alterações climáticas*

Isabella Aparecida Fonseca Bertoleti<sup>1</sup>; Eduardo Pereira Cabral Gomes<sup>2</sup> Nádya Gilma Beserra de Lima<sup>3</sup>; Catarina Carvalho Nievola<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Conservação da Biodiversidade - Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SEMIL-SP) <sup>2</sup>Núcleo de Uso Sustentável de Recursos Naturais- Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SEMIL-SP)

<sup>3</sup> Núcleo de Geociências, Gestão de risco e Monitoramento Ambiental - Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SEMIL-SP)

#### **RESUMO**

O bioma Mata Atlântica é considerado um dos 25 *hotspots* mundiais de biodiversidade e sofreu efeitos antrópicos negativos que resultaram na perda de mais de 93% da sua área original em território brasileiro, o que aponta para a necessidade constante de restauração. Dado o significativo potencial biológico das florestas na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e a prevalência de procedimentos estabelecidos para a recuperação de áreas degradadas, é observada a escassez de levantamentos de estudos que relatem a capacidade de espécies utilizadas em restauração sobreviverem às alterações previstas pelo IPCC (Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas), como é o caso do aumento da temperatura e episódios de seca – decorrentes da alteração da concentração de Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. O objetivo deste trabalho foi identificar por meio do método PRISMA, espécies nativas da Mata Atlântica, que foram citadas em trabalhos como tolerantes ou sensíveis aos prováveis efeitos das mudanças climáticas. Dentre as 36 publicações selecionadas pelos critérios PRISMA utilizados neste trabalho, a maioria era proveniente do Brasil, seguido por Argentina. A pesquisa identificou 10 espécies que, atualmente, são recomendadas para projetos de restauração ecológica no Estado de São Paulo e se mostram sensíveis para alterações climáticas, enquanto que cinco espécies são tolerantes à seca e temperaturas elevadas. Os resultados deste trabalho apontam a necessidade de ampliação da avaliação

do uso de espécies tolerantes às alterações do clima o que contribuiria para subsidiar políticas públicas e programas de restauração.

**Palavras-chave:** Brasil; Mata Atlântica; Recuperação de áreas degradadas; Seca; Temperatura;

## INTRODUÇÃO

O cenário de mudanças climáticas se mostra cada vez mais presente em nossa realidade, evidenciado por modelos globais quanto ao aumento da frequência e intensidade gerando efeitos sobre o planeta como um todo. Dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), por exemplo, estimam um aumento de temperatura de 1,5°C a 1,9°C até o final desse século. Segundo publicação recente do Grupo de Trabalho 1 (IPCC, 2021), as mudanças no clima estão sendo cada vez mais generalizadas, rápidas e intensificadas, não sendo registradas temperaturas tão altas no planeta em 6.500 anos, efeito este, atribuído às atividades humanas.

Ao considerar a região tropical, a temperatura do ar poderá subir atingindo até o fim deste século, 3°C adicionais (Marengo & Valverde 2007; Solomon *et al.*, 2007), o que, presumivelmente, pode levar à extinção de espécies que não toleram esse aumento, prejudicando o estabelecimento e a manutenção das florestas. Dentre as possíveis variações climáticas, são previstas alterações na precipitação pluviométrica, irradiação solar e variações de temperatura do ar, além da ocorrência frequente de eventos extremos como secas prolongadas (IPCC, 2023). Essas alterações certamente afetarão os biomas, podendo influenciar na sobrevivência de espécies nativas, como pode ocorrer na Mata Atlântica. Em latitudes menores do bioma a seca atingirá formações florestais, impondo condições adversas para o desenvolvimento de espécies pouco tolerantes, principalmente para os estados do Nordeste do Brasil. O efeito oposto será observado em regiões de latitudes maiores como no sudeste da América do Sul, onde excessos de chuva são esperados para as próximas décadas, porém, com distribuição irregular em relação ao padrão encontrado até o início deste século (IPCC, 2021).

A Mata Atlântica, originalmente com uma extensão de cerca de 1.300.000 km<sup>2</sup> (Fundação SOS Mata Atlântica, 2023; INPE, 1998), é considerada um dos 25 *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000). Presente em 17 estados brasileiros, além de países vizinhos como Argentina e Paraguai (Fundação SOS Mata Atlântica, 2023), tal bioma é delimitado pela zona tropical e subtropical do globo. De toda sua extensão original,

cercade 92% se encontra em território brasileiro (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2001; Leal & Câmara, 2003), sendo considerada a floresta brasileira mais antiga (Rizzini, 1997). Sua biodiversidade é fruto da variação latitudinal e de altitudes, além da presença de diversas tipologias vegetais associadas, tais como Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual (Sette de Almeida, 2016; IBGE, 1992), que tornam a Mata Atlântica mais rica em diversidade de espécies por unidade de área em comparação até mesmo, à Amazônia (Colombo & Joly, 2010).

Apesar de sua grandiosidade e importância, a Mata Atlântica foi fragmentada, geralmente em processos associados aos ciclos econômicos brasileiros e à expansão urbana (Sette de Almeida, 2016), restando atualmente apenas 24% da floresta, dentre os quais, apenas 12,4% estão bem preservadas (SOS Mata Atlântica, 2023). Com isso, a biodiversidade da Mata Atlântica apresenta-se comprometida, em que possivelmente muitas espécies já foram extintas antes mesmo de serem descritas pela ciência (Sette de Almeida (2016). Considerando o potencial biológico da Mata Atlântica, as mudanças climáticas previstas e a frequente ameaça antrópica, é de extrema necessidade manter e manejar os últimos fragmentos florestais, contribuindo para que o Brasil seja considerado um país com uma das maiores biodiversidades do mundo (Sette de Almeida, 2016),

A restauração ecológica tem sido considerada uma possível via para recuperar os fragmentos, a qual é definida como ‘processo de assistência à recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído’ (SER, 2004). O processo de restauração é constituído por um conjunto de práticas que envolvem aspectos políticos, ecológicos, tecnológicos, sociais e culturais (Hobbs, 2005), visando o reestabelecimento do equilíbrio ecológico na área restaurada, colaborando para a conservação da biodiversidade – um dos maiores desafios do século (Primack & Rodrigues, 2001). O foco das preocupações sobre a restauração de ambientes degradados baseia-se na ‘Década Global da Restauração de Ecossistemas’ (PNUMA; FAO) que aponta a restauração como uma via, se não uma das únicas vias, possível para recuperar florestas degradadas, antes que enfrentemos, ainda mais, as consequências climáticas e ecológicas (Viani *et al.*, 2022).

O olhar do mundo está voltado para o propósito de restaurar e, para acelerar ações de restauração nos próximos 10 anos, foi instaurada uma ação liderada pelo programa da ONU para o Meio AMBIENTE (PNUMA) e pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) denominada ‘*Década Global da Restauração de*

*Ecossistemas*’ (2021-2030) – momento decisivo para que ocorra um movimento global voltado para recuperar florestas degradadas através de incentivos políticos e capacidade técnica antes que sejam enfrentadas as consequências catastróficas da degradação (Viani *et al.*, 2022).

No Brasil, o processo de restauração ecológica envolve normas que, no Estado de São Paulo, por exemplo, importante região com fragmentação do bioma Mata Atlântica, somente foi iniciada a partir de 2001, com orientações técnicas detalhadas para projetos de restauração (Resolução SMA 21, de 21/11/2001). A resolução que rege atualmente a restauração ecológica no Brasil, especificadamente no Estado de São Paulo, é a SMA nº32 de 03 de abril de 2014, modificada pela SMA nº 73, de 16 de setembro de 2020. As mesmas norteiam sobre o contexto da restauração, levando em consideração as áreas prioritárias para o processo que são relevantes para conservação de recursos hídricos, aquelas que sofrem com erosão do solo e aquelas que ampliem ou melhorem a forma de fragmentos de vegetação nativa. Ademais, a regulamentação orienta sobre o tipo de vegetação a ser implantada, em que, no mínimo, 40% devem ser espécies nativas zoocóricas, 5% de espécies nativas que se encontram em alguma categoria de ameaça e, por fim, a escolha de espécies que contemplem o processo de sucessão ecológica, com grupos pioneiros e secundários (iniciais, tardios e climáticas), com o máximo de 60% para cada grupo. Por fim, leva-se em consideração a importância da manutenção da restauração até que ocorra o reestabelecimento da condição não degradada do ecossistema.

Apesar de toda a preocupação com a reposição de áreas verdes, não foram encontrados relatos que apontassem se as espécies comumente utilizadas em restauração ecológica sobreviveriam às alterações climáticas, levando em consideração características fisiológicas que mostrassem a resiliência às alterações do clima, como crescimento, fotossíntese e assimilação de nutrientes. Portanto, parâmetros ecofisiológicos identificados em trabalhos científicos poderiam ser utilizados para indicar o nível de tolerância de determinada espécie às alterações previstas devido às mudanças do clima.

O desenvolvimento deste trabalho visa criar subsídios para reflexão sobre as seguintes questões: Os artigos publicados relacionam restauração ecológica à mudanças climáticas? Grupos funcionais seriam indicativos para estabelecer uma ligação entre restauração e mudanças climáticas? Determinadas espécies podem ser indicadores de resiliência dos ambientes restaurados às mudanças climáticas em regiões tropicais?

Assim, o estudo tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre restaurações ecológicas para Mata Atlântica em ambientes naturais, buscando tendências em relação à citação de aspectos ecofisiológicos que indiquem tolerância das espécies utilizadas frente às mudanças climáticas, a fim de subsidiar futuras políticas públicas de restauração para fragmentos degradados desse bioma.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

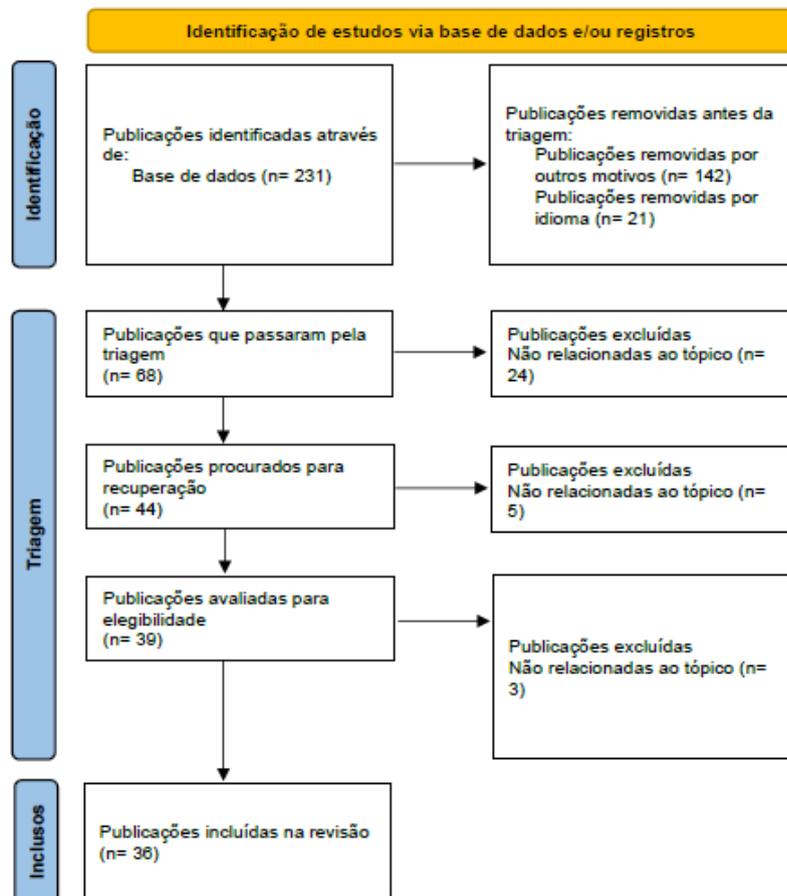
O estudo seguiu o guia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses” (PRISMA – <https://prisma-statement.org/>). A busca por publicações foi conduzida através da base de dados Web of Science, atualizada em março de 2023. As palavras-chave utilizadas foram “restoration ecology”, “ecological restoration”, “atlantic forest”, “atlantic rainforest”, “funcional groups”, “species” e “climate change”. As buscas foram realizadas de maneira interligada, a fim de verificar a ligação entre os termos, por exemplo, ‘climate change’ e ‘restoration ecology’. Visando focar, principalmente, nas publicações de grande circulação, nas quais os resultados são amplamente divulgados, os artigos selecionados estavam no idioma inglês e os capítulos de livros não foram contemplados, pois alguns citam artigos que já foram considerados no primeiro item de busca.

O processo de busca e seleção dos artigos está descrito no Fluxograma PRISMA seguindo os padrões de inclusão e exclusão da revisão em questão (Figura 1). Após a busca dos estudos com o uso das palavras-chave, foi realizada a leitura dos títulos para a primeira exclusão de publicações. Dos 231 artigos encontrados através das expressões de busca, 142 foram excluídos por não se relacionar ao tema, se tratando da fauna da Mata Atlântica, e 21 artigos foram excluídos por não estarem no idioma inglês.

Em seguida, os artigos foram selecionados para leitura de *abstract* que, por sua vez, resultou em uma segunda exclusão. Da totalidade de 68 estudos, 24 foram excluídos por não estarem relacionados com o tema. Os 42 artigos resultantes foram submetidos a leitura, os quais se mantiveram na revisão 39 – 3 deles não se relacionavam exatamente ao tópico principal de busca. Após a análise total dos estudos restaram 36 artigos, já que 3 não se relacionavam com o objetivo da revisão. Os selecionados foram lidos na íntegra para identificar detalhes do estudo realizado que se relacionassem ao proposto no

objetivo.

**Figura 1-** Fluxograma PRISMA sobre artigos envolvendo espécies utilizadas para restauração ecológica em áreas naturais do bioma da Mata Atlântica.



As análises textuais foram realizadas utilizando o software Iramuteq (R 4.1.3) para buscar tendências e correlações nos textos dos 36 artigos incluídos na revisão. Os resumos de todos os artigos foram formatados de forma a excluir todos os artigos e pronomes, resultando em um resumo constituído, principalmente, por verbos e substantivos. Para a compreensão das coocorrências entre as palavras do texto e, dessa forma, identificar a conexão entre os termos (Camargo & Justo, 2013), foi realizada a análise de similitude. Foi identificado um termo errôneo nos trabalhos, sendo ele o termo ‘specie’, se referindo a espécie biológica que deveria ser tratada como ‘species’- erro proveniente de não-nativos da língua inglesa. A expressão foi corrigida na imagem gerada pelo software Iramuteq.

## RESULTADOS

A área de estudo dos artigos se concentrou, principalmente, no Brasil, com 29 publicações, seguido pela Argentina, com 2 publicações na área. Dos estados brasileiros, os que mais publicaram foram São Paulo (SP), com 8 publicações, seguido por Minas Gerais (MG), com 4 artigos, Rio de Janeiro (RJ), Bahia (BA), Santa Catarina (SC), Pernambuco (PE), com 3 publicações, Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS) com 2, e, por fim, Alagoas (AL) com 1 publicação. Na Argentina, as publicações se concentraram no estado de Misiones (Figura 2). Dos 36 artigos incluídos na revisão, 7 não apresentavam estado de origem.



**Figura 2-** Distribuição de publicações da Mata Atlântica.

Dentre tais publicações, os trabalhos que buscaram compreender as respostas fisiológicas e ecológicas das espécies frente às alterações climáticas estão descritos a seguir (Tabela 1).

**Tabela 1-** Artigos sobre resposta de plantas utilizadas para restauração ecológica frente às mudanças climáticas.

Referência	Espécie	Região de estudo	Resultado
Oda et al. (2016)	<i>Lytocaryum weddellianum</i>	Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro (Brasil).	Sementes em regiões com altitude mais baixa (temperatura e umidade elevada) apresentaram taxas de germinação mais altas, com sementes mais pesadas, com as mudas direcionando maior investimento para raiz e biomassa total. Já as mudas de altas altitudes (menos luz disponível) direcionaram investimentos para parâmetros foliares. Essas diferenças de estratégias de estabelecimento indicam que a espécie pode ter o potencial de se adaptar às mudanças climáticas previstas na região.
Teixeira et al. (2016)	<i>Passiflora actinia</i>	Curitiba, Paraná (Brasil); Osório, Rio Grande do Sul (Brasil); Sapiranga, Rio Grande do Sul (Brasil).	A distribuição da espécie provavelmente diminuirá frente ao cenário de mudanças climáticas, em que a mesma persistirá nas terras altas e será reduzida nas terras baixas.

<b>Moreira et al. (2018)</b>	<i>Acrocomia aculeata</i> <i>Coffea arabica</i>	Viçosa, Minas Gerais (Brasil).	A produtividade de sistemas agroflorestais foi eficaz com uma distância de 4,2m entre palmeiras e fileiras de café. A agrofloresta de cafeeiro com macaúba pode ser uma estratégia de adaptação à futura variabilidade climática de elevadas temperaturas e seca.
<b>Castro et al. (2019)</b>	<i>Araucaria angustifolia</i>	Lavras, Minas Gerais (Brasil).	Espécie se adapta melhor em condição climática mesotérmica, com temperatura média de 14°C, com chuvas regularmente distribuídas ao longo do ano. Considerando as projeções de mudanças climáticas para os trópicos, acredita-se que a distribuição da espécie diminuirá em 28% no bioma da Mata Atlântica.
<b>Olguin et al. (2020)</b>	<i>Cabralea canjerana</i> <i>Araucaria angustifolia</i>	San Antonio, Misiones (Argentina).	A espécie <i>Cabralea canjerana</i> apresentou maior plasticidade às condições extremas de radiação solar do que <i>Araucaria angustifolia</i> .
<b>Gaspar et al. (2021)</b>	<i>Alsophila setosa</i> <i>Alsophila sternbergii</i> <i>Cyathea atrovirens</i> <i>Cyathea corcovadensis</i> <i>Cyathea delgadii</i> <i>Cyathea feeana</i> <i>Cyathea leucifolia</i>	Blumenau, Santa Catarina (Brasil).	A maioria das espécies tende a ter sua distribuição reduzida, assim a riqueza de espécies tende a diminuir no futuro. A diversidade, por sua vez, tende a não se alterar na escala regional, mas alguns locais podem ter sua composição

	<i>Cyathea phalerata</i> Dicksonia <i>sellowiana</i> Gymnosphaera <i>capensis</i> Lophosoria <i>quadripinnata</i> <i>Sphaeropteris gardneri</i>		afetada pelas mudanças climáticas.
<b>Macedo et al. (2021)</b>	<i>Apuleia leiocarpa</i> <i>Centrolobium tomentosum</i> <i>Lonchocarpus cultratus</i> <i>Pseudopiptadenia contorta</i> <i>Pseudopiptadenia leptostachia</i> <i>Pterocarpus rohrii</i> <i>Paubrasilia echinata</i>	Reserva Biológica do Poço das Antas, Rio de Janeiro (Brasil).	De modo geral, todas as espécies toleraram períodos de seca experimentados até o momento, mesmo sem um padrão comum de recuperação entre as espécies.

Espécies como *Apuleia leiocarpa*, *Centrolobium tomentosum*, *Lonchocarpus cultratus*, *Pseudopiptadenia contorta*, *Pseudopiptadenia leptostachia*, *Pterocarpus rohrii*, *Paubrasilia echinata*, *Cabralea canjerana*, *Acrocomia aculeata* e *Lytocaryum weddellianum*, nativas de florestas tropicais como a Mata Atlântica, se mostram tolerantes às mudanças climáticas previstas para o globo, indicando possibilidades para as futuras restaurações ecológicas realizada nesse bioma, visando a tolerância às mudanças climáticas.

## DISCUSSÃO

Tendo em vista a importância do bioma da Mata Atlântica por conter das maiores biodiversidades do mundo, preservar a vegetação nativa é visto como uma necessidade, como relata Ledru *et al.*, 2007; Wagner *et al.*, 2020; Citadini-Zanette *et al.*, 2017; Macedo *et al.*, 2019; Gazell *et al.*, 2012; Locosselli *et al.*, 2019; Mengardo *et al.*, 2012, destacando, ainda, a preocupação com o clima ou com a mudança do mesmo. Para isso, a metodologia PRISMA se mostra como uma ferramenta fundamental na busca e seleção de estudos que visem o mesmo propósito, neste caso, a restauração de um bioma considerado um dos 25 *hotspots* de biodiversidade do mundo.

O número de artigos encontrados neste trabalho mostram que a relação entre resiliência às alterações do clima e espécies utilizadas em restauração não é muito frequente, indicando a necessidade de que mais trabalhos sejam gerados afim de contribuir para o estabelecimento de florestas tolerantes. Contudo, os esforços devem ser voltados à manutenção da biodiversidade.

É esperado que o Brasil tenha o maior número de publicações em comparação com outros países que possuem o bioma da Mata Atlântica, uma vez que cerca de 92% dessa floresta está localizada no país (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2001; Galindo-Leal & Câmara, 2003). No entanto, considerando a magnitude e importância desse bioma, o número de publicações que abordam a associação entre mudanças climáticas e restauração ecológica é ainda baixo.

Foi possível identificar que as alterações climáticas mais estudadas para a região da Mata Atlântica são o aumento de temperatura do ar e a alteração do regime hídrico, o que ocorrerá com maior frequência e intensidade ao longo dos anos na zona tropical (IPCC, 2021), região em que a Mata Atlântica está inserida. Rosado *et al.* (2015), ao estudar o uso da água por diferentes espécies do bioma Mata Atlântica, revelou que existem certas restrições de uso de água para árvores de floresta tropical, principalmente quando as mesmas são expostas a maior radiação solar e menor umidade do solo, sugerindo, ainda que locais montanhosos, muito presentes no bioma, podem ser ainda mais sensíveis às mudanças climáticas pela alteração nos eventos de neblina fonte de água para muitas espécies. Além disso, McCulloch *et al.* (2020), ao estudar a influência do regime hídrico na fixação simbiótica de nitrogênio, observaram que não há uma resposta padrão entre mudas da mesma espécie, o que pode indicar que, em um futuro de mudanças climáticas, é possível que ocorra uma diversidade de respostas entre as mudas.

Dentre os trabalhos que relacionaram o impacto da variabilidade climática e a identificação de espécies sensíveis e tolerantes nos processos de restauração, há o de Oda *et al.* (2016), Castro *et al.* (2019), Teixeira *et al.* (2016), Gasper *et al.* (2021). Já Olguin *et al.* (2020) destacaram a importância da aclimação e plasticidade das espécies.

Em trabalho publicado por Oda *et al.* (2016) com *Lytocaryum weddellianum*, espécie natural da Mata Atlântica, presente principalmente na região sudeste, demonstrou maiores taxas de germinação em locais de baixa altitude e, conseqüentemente, temperatura e umidade mais alta, com sementes mais pesadas e maior investimento das plântulas em biomassa e raiz total. Em altitudes elevadas, com condições climáticas inversas às anteriores, o desenvolvimento da plântula apresentou maior investimento em parâmetros foliares. Essas diferenças nos revelam estratégias importantes de adaptação da espécie às diferentes condições, o que nos revela o potencial de adaptação da espécie frente às mudanças climáticas esperadas.

Quando voltamos os olhos para o estudo das ‘samambaias arbóreas’ da Floresta Atlântica, Gasper *et al.* (2021) demonstra que a maioria das espécies terá sua distribuição

reduzida e alterada, acarretando numa menor riqueza de espécies no futuro. Já para a espécie *Araucaria angustifolia*, conífera muito presente, inclusive, em Floresta Atlântica, a expectativa é de uma diminuição na distribuição, em que, possivelmente, a arbórea será restrita a altitudes elevadas do sul e sudeste do Brasil, tal qual a espécie *Passiflora actinia* que terá sua distribuição reduzida (Teixeira *et al.*, 2016).

Em geral, a maioria das espécies tende a ter sua distribuição reduzida, assim a riqueza de espécies tende a diminuir no futuro. A diversidade, por sua vez, tende a não se alterar na escala regional, mas alguns locais podem ter sua composição afetada pelas mudanças climáticas. Tais alterações demonstram um fato preocupante num cenário visando a conservação da biodiversidade de um dos *hotspots* de biodiversidade, como a Mata Atlântica.

Ainda sobre a espécie *Araucaria angustifolia*, em estudo complementar (Olguin, *et al.*, 2020) e comparativo com a espécie *Cabralea canjerana*, hora arbórea, hora arbustiva, muito presente na Floresta Atlântica, demonstrou que a última se apresenta com maior plasticidade e robustez frente à diferentes condições ambientais que a primeira espécie.

Dentre as maneiras de lidar com a crise climática, Moreira *et al.* (2018), buscaram mitigar os efeitos das mudanças climáticas sob a produção de café através de uma espécie nativa de floresta tropical – *Acrocomia aculeata*. A produtividade do café aumentou, mostrando ser uma estratégia promissora de adaptação às futuras variações climáticas, podendo gerar as condições mais favoráveis, nesse situação, em ambientes mais quentes e com baixa precipitação.

Das espécies abordadas em artigos que demonstram preocupação com o futuro cenário de mudanças climáticas, *Apuleia leiocarpa*, *Centrolobium tomentosum*, *Pterocarpus rohrii*, *Cabralea canjerana*, *Acrocomia aculeata*, são indicadas para restauração ecológica, segundo a Lista de Espécies Indicadas para Restauração Ecológica para Diversas Regiões do Estado de São Paulo (2017) e, segundo relatado por Moreira *et al.* (2018), Olguin *et al.* (2020) e Macedo *et al.* (2021) essas espécies se mostram tolerantes à alterações das condições climáticas, sendo boas opções para restauração visando a tolerância às mudanças climáticas.

Por sua vez, espécies como *Araucaria angustifolia*, *Alsophila setosa*, *Alsophila sternbergii*, *Cyathea atrovirens*, *Cyathea corcovadensis*, *Cyathea delgadii*, *Cyathea leucofolis*, *Cyathea phalerata*, *Dicksonia sellowiana*, *Lophosoria quadripinnata*, indicadas como espécies sensíveis às projeções de mudanças climáticas (Castro *et al.*,

2019; Gasper *et al.*, 2021) ainda são indicadas pela Lista de Espécies Indicadas para Restauração Ecológica para Diversas Regiões do Estado de São Paulo (2017) e, assim, utilizadas para projetos de restauração.

**Tabela 2** – Relação entre espécies tolerantes ou sensíveis (\*) e a Lista de Espécies Indicadas para Restauração Ecológica para Diversas Regiões do Estado de São Paulo (2017) (\*espécies que apresentaram qualquer diminuição em sua distribuição ou apresentaram prejuízos fisiológicos que limitam sua sobrevivência frente à alterações climáticas foram consideradas sensíveis).

<b>Espécie</b>	<b>Tolerante ou Sensível às alterações climáticas</b>	<b>Presente na Lista de Espécies Indicadas para Restauração Ecológica para Diversas Regiões do Estado de São Paulo (2017)?</b>
<i>Acrocomia aculeata</i>	Tolerante	Sim
<i>Lytocaryum weddelliamm</i>	Tolerante	Não
<i>Passiflora actinia</i>	Sensível	Não
<i>Alsophila setosa</i>	Sensível	Sim
<i>Alsophila sternbergii</i>	Sensível	Sim
<i>Cyathea atrovirens</i>	Sensível	Sim
<i>Cyathea corcovadensis</i>	Sensível	Sim
<i>Cyathea delgadii</i>	Sensível	Sim
<i>Cyathea feeana</i>	Sensível	Não
<i>Cyathea leucofolis</i>	Sensível	Sim
<i>Cyathea phalerata</i>	Sensível	Sim
<i>Dicksonia sellowiana</i>	Sensível	Sim
<i>Gymnosphaera capensis</i>	Sensível	Não
<i>Lophosoria quadripinnata</i>	Sensível	Sim
<i>Sphaeropteris gardneri</i>	Sensível	Não
<i>Cabralea canjerana</i>	Tolerante	Sim
<i>Araucaria angustifolia</i>	Sensível	Sim
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Tolerante	Sim
<i>Centrolobium tomentosum</i>	Tolerante	Sim
<i>Lonchocarpus cultratus</i>	Tolerante	Não
<i>Pseudopiptadenia contorta</i>	Tolerante	Não
<i>Pseudopiptadenia leptostachia</i>	Tolerante	Não
<i>Pterocarpus rohrii</i>	Tolerante	Sim
<i>Paubrasilia echinata</i>	Tolerante	Não

O crescimento como parâmetro mais estudado indica a urgência da restauração de florestas, buscando espécies de crescimento rápido para que a restauração seja acelerada. Alguns trabalhos relatam a recuperação da floresta em 20 anos, enquanto que estudos anteriores relatavam 50 anos para a finalização do processo (Winbourne *et al.*, 2018; Londe *et al.*, 2020) em relação ao re-estabelecimento do ciclo do nitrogênio após o início

da restauração florestal.

Visando o estabelecimento de florestas tolerantes, é interessante que estudos voltem o olhar para características fisiológicas para compreender quais espécies resistiriam ao cenário de mudanças climáticas para futuras restaurações, sendo uma das vias possíveis para mitigação das variações do clima.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender a resposta ecológica e fisiológica das plantas frente às alterações climáticas cria subsídio para as restaurações ecológicas de modo a gerar ambientes restaurados tolerantes ao futuro cenário e, ainda, promover a conservação de espécies através da escolha do local em que a mesma será plantada de acordo com suas capacidades fisiológicas. Em suma, a projeção das mudanças climáticas traz à tona a necessidade de restaurar locais de modo que sejam tolerantes às alterações e, ao mesmo tempo, de buscar na restauração ecológica uma saída para conter o aumento de temperatura. Portanto, mobilizar esforços da Ciência para compreender a resposta de espécies atualmente indicadas para Restauração Ecológica em fragmentos de Mata Atlântica, pode promover ecossistemas tolerantes para o futuro, contribuindo para a conservação ambiental – um dos maiores desafios do século.

Atualmente, na Lista de Espécies Indicadas para Restauração Ecológica para Diversas Regiões do Estado de São Paulo (2017) são indicadas inúmeras espécies que se apresentam tolerantes às mudanças climáticas pelos trabalhos analisados nessa revisão, porém, ainda estão presentes na lista espécies que se mostram sensíveis às projeções das mudanças climáticas, fato que pode oferecer risco às restaurações no futuro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarenga, L. D. P. *et al.* **Habitat loss effects on spatial distribution of non-vascular epiphytes in a Brazilian Atlantic forest.** Biodiversity and Conservation, v. 19, n. 3, p. 619–635, 6 out. 2009.

Araujo, I. C. L. *et al.* **Management of the environmental restoration of degraded areas.** Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 57, n. 2, p. 284–294, abr. 2014.

Barbosa, Luiz Mauro, Regina Tomoko Shirasuna, Fernando Cirilo de Lima, Paulo Roberto Torres Ortiz, Karina Cavalheiro Barbosa, Tiago Cavalheiro Barbosa. **Lista de**

**espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do Estado de São Paulo** / Luiz Mauro Barbosa -- São Paulo: Instituto de Botânica, 2017. 344p.

Bazzaz, F. & Pickett, S. **Physiological Ecology of Tropical Succession: A Comparative Review**. Annual Review of Ecology and Systematics, 11, 287-310, 1980.

Berry, J. & Bjorkman, O. **Resposta fotossintética e adaptação à temperatura em plantas superiores**. Annu. Rev. Plant Physiol. 31, 491-543, 1980

Biomass | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html>>.

Bruel, B. O. *et al.*. **Survival and Growth of Tree Species under Two Direct Seedling Planting Systems**. Restoration Ecology, v. 18, n. 4, p. 414–417, 12 mar. 2010.

Camargo, B. V. & Justo, A.a M.. **IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais**. Temas psicol., Ribeirão Preto , v. 21, n. 2, p. 513-518, dez. 2013.

Disponível em  
<[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-389X2013000200016&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X2013000200016&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 21 ago. 2023.

<http://dx.doi.org/10.9788/TP2013.2-16>.

Campoe, O. C. *et al.* **Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests?** Forest Ecology and Management, v. 259, n. 9, p. 1808–1814, abr. 2010.

Castro, M. B. *et al.* **Will the emblematic southern conifer Araucaria angustifolia survive to climate change in Brazil?** Biodiversity and Conservation, v. 29, n. 2, p. 591–607, 21 nov. 2019.

Citadini-Zanette, V. *et al.* **Mimosa scabrella BENTH. (FABACEAE) ENHANCES THE RESTORATION IN COAL MINING AREAS IN THE ATLANTIC RAINFOREST**. CERNE, v. 23, p. 103–114, 2017.

Colombo, A. F.; Joly, C. A. **Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change**. Brazilian Journal of Biology, v. 70, n. 3, p. 697–708, 1 out. 2010.

Couto *et al.* **Response of soil microbial biomass and activity in early restored lands in the northeastern Brazilian Atlantic Forest**. Restoration Ecology, v. 24, n. 5, p. 609–616, 16 maio 2016.

Dario, F. R. **Processos ecológicos para recuperação de áreas degradadas**. [s.l.] Editora Senac São Paulo, 2022.

Filho, J. P. L. & Filho, C. V. M. **Seasonal changes in the water status of three woody legumes from the Atlantic forest, Caratinga, Brazil.** *Journal of Tropical Ecology*, v. 16, n. 1, p. 21–32, jan. 2000.

Francescantonio, D. *et al.* **Drought and frost resistance vary between evergreen and deciduous Atlantic Forest canopy trees.** *Functional Plant Biology*, v. 47, n. 9, p. 779, 2020.

Gasper, A. L. *et al.* **Expected impacts of climate change on tree ferns distribution and diversity patterns in subtropical Atlantic Forest.** *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 19, n. 3, p. 369–378, jul. 2021.

Gazell, A. C. *et al.* **Tree species richness, does it play a key role on a forest restoration plantation?** *Bosque (Valdivia)*, v. 33, n. 3, p. 3–4, dez. 2012.

Guedes, B. J. *et al.* **Vulnerability of small forest patches to fire in the Paraíba do Sul River Valley, southeast Brazil: Implications for restoration of the Atlantic Forest biome.** *Forest Ecology and Management*, v. 465, p. 118095, jun. 2020.

Instituto de Pesquisas Espaciais (Brasil). Adamantina, São Paulo. São José dos Campos: INPE, 1998.

IPCC (2023) **Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers.** In: **Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)].** IPCC, Geneva, Switzerland, 36 pages. (in press). [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

Larcher, L. *et al.* **Biomass allocation and shade tolerance in tree species of the Atlantic Forest.** *Botany*, v. 90, n. 9, p. 830–838, set. 2012.

Lavinsky, A. O. *et al.* **Effects of light availability and soil flooding on growth and photosynthetic characteristics of *Genipa americana* L. seedlings.** *New Forests*, v. 34, n. 1, 5 abr. 2007.

Leal, C. G.; Câmara, I. DE G. **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook.** [s.l.] Island Press, 2003.

Ledru, M.-P. *et al.* **Regional assessment of the impact of climatic change on the distribution of a tropical conifer in the lowlands of South America.** *Diversity and Distributions*, v. 13, n. 6, p. 761–771, 26 jun. 2007.

Locosselli *et al.* **Impact of temperature on the growth of a Neotropical tree species (*Hymenaea courbaril*, Fabaceae) at its southern distribution limit.** *International Journal of Biometeorology*, v. 63, n. 12, p. 1683–1692, 27 ago. 2019.

Londe, V. *et al.* **Reference and comparison values for ecological indicators in assessing restoration areas in the Atlantic Forest.** *Ecological Indicators*, v. 110, p. 105928, 1 mar. 2020.

Macedo, T. M. *et al.* **Climate signals in tree rings of *Paubrasilia echinata* (Leguminosae-Caesalpinioidea) from the Atlantic Forest of Brazil.** *Trees*, v. 34, n. 2, p. 337–347, 24 out. 2019.

Macedo, T. M. *et al.* **Diversity of growth responses to recent droughts reveals the capacity of Atlantic Forest trees to cope well with current climatic variability.** *Forest Ecology and Management*, v. 480, p. 118656, jan. 2021.

Marengo, J. A., & Valverde, M. C. **Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4.** *Revista Multiciência*, 8, 5-28, 2007.

McCulloch, L. A. *et al.* **Drought and soil nutrients effects on symbiotic nitrogen fixation in seedlings from eight Neotropical legume species.** *Biotropica*, v. 53, n. 2, p. 703–713, 20 jan. 2021.

Mengardo, A. L. T. *et al.* **Comparing the establishment of an invasive and an endemic palm species in the Atlantic rainforest.** *Plant Ecology & Diversity*, v. 5, n. 3, p. 345–354, set. 2012.

Mittermeier, R., *et al.* (2004) **Hotspots Revisited. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**, Volume 392. - References - Scientific Research Publishing. Disponível em:

<[https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55.\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2728553](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55.))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2728553)>.

Mori, S. A.; Boom, B. M.; France, E. T. **Distribution patterns and conservation of East Brazilian Coastal Forest Species.** *Buttonia*, vol. 33, n. 2, p. 233-245, Oct.-Dec. 1991.

Moreira, S. L. S. *et al.* **Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects.** *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 256-257, p. 379–390, jun. 2018.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Oda, G. A. M.; *et al.* **Does regenerative strategy vary between populations? A test using a narrowly distributed Atlantic Rainforest palm species**. *Plant Ecology*, v. 217, n. 7, p. 869–881, 25 maio 2016.

Olguin, F. Y. *et al.* **Morphological and physiological plasticity in seedlings of *Araucaria angustifolia* and *Cabralea canjerana* is related to plant establishment performance in the rainforest**. *Forest Ecology and Management*, v. 460, p. 117867, mar. 2020.

PRISMA (2023) – **Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses**. <https://prisma-statement.org/>

Richit, L. A. *et al.* **Forest recovery prognostics in conservation units of the Atlantic rainforest**. *Ecological Informatics*, v. 61, p. 101199, mar. 2021.

Rizzini, C.T. 1997. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. 2 ed. Âmbito Cultural Edições, Rio de Janeiro.

Rosado, B. H. P. *et al.* **Changes in plant functional traits and water use in Atlantic rainforest: evidence of conservative water use in spatio-temporal scales**. *Trees*, v. 30, n. 1, p. 47–61, 21 fev. 2015.

Rocha-Nicoleite *et al.* **Forest restoration after severe degradation by coal mining: lessons from the first years of monitoring**. *Brazilian Journal of Botany*, v. 41, n. 3, p. 653–664, 16 ago. 2018.

Rocha-Santos, L. & Talora, D. C. **Recovery of Atlantic Rainforest Areas Altered by Distinct Land-Use Histories in Northeastern Brazil**. *Tropical Conservation Science*, v. 5, n. 4, p. 475–494, dez. 2012.

Santos *et al.* **Physiological parameters and plasticity as key factors to understand pioneer and late successional species in the Atlantic Rainforest**. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 41, n. 8, 26 jul. 2019.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo. **Resolução SMA 21, 21/11/2001**. São Paulo. 2001.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo. **Resolução SMA 32, 03/04/2014**. São Paulo. 2014.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo. **Resolução SMA 73, 16/09/2020**. São Paulo. 2020.

SER – **Society for Ecological Restoration**. 2004. Science & Policy Working Group. The SER International primer on ecological restoration. <[http://www.ser.org/content/ecological\\_restoration\\_primer.asp](http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp)>.

Siqueira, W. K. *et al.* **THE ROLE OF BACCHARIS (ASTERACEAE) SHRUBS IN THE SHORT-TERM RESTORATION OF ATLANTIC**

**RAINFOREST**. Nature Conservation Research. Заповедная наука, v. 7, n. 2, p. 42–53, 2022.

Sette de Almeida, D. **Recuperação ambiental Mata Atlântica**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402.pdf>>.

Solomon, S., *et al.* **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution. of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.

SOS Mata Atlântica. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/>>.

Souza, B. D. *et al.* **Ecophysiology parameters of four Brazilian Atlantic Forest species under shade and drought stress**. Acta Physiologiae Plantarum, v. 32, n. 4, p. 729–737, 9 jan. 2010.

Teixeira, A. M. G. *et al.* **Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation**. Forest Ecology and Management, v. 257, n. 4, p. 1219–1230, fev. 2009.

Teixeira, M. C. *et al.* **Effects of past climate on Passiflora actinia (Passifloraceae) populations and insights into future species management in the Brazilian Atlantic forest**. Botanical Journal of the Linnean Society, v. 180, n. 3, p. 348–364, 1 mar. 2016.

Wagner, F. H. *et al.* **Mapping Atlantic rainforest degradation and regeneration history with indicator species using convolutional network**. PLOS ONE, v. 15, n. 2, p. e0229448, 28 fev. 2020.

Winbourne, J. B. *et al.* **Nitrogen cycling during secondary succession in Atlantic Forest of Bahia, Brazil**. Scientific Reports, v. 8, n. 1, 22 jan. 2018.

## CAPÍTULO 2

### *Global Models for Ecological Restoration in Urban Environments: A PRISMA*

#### *Review*

Isabella Aparecida Fonseca Bertoleti<sup>1</sup>; Maurício Lamano Ferreira<sup>2</sup>; Eduardo Pereira Cabral Gomes<sup>3</sup>; Elaine Aparecida Rodrigues<sup>4</sup>, Catarina Carvalho Nievola<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Conservação da Biodiversidade - Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SEMIL-SP) <sup>2</sup>Mestrado em Análise Geoambiental (Stricto sensu) – Universidade de Guarulhos (UNG) <sup>3</sup>Núcleo de Uso Sustentável de Recursos Naturais- Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SEMIL-SP)

<sup>4</sup>Divisão de Dasonomia – Instituto Florestal do Estado de São Paulo

#### **ABSTRACT**

Since the Industrial Revolution, global urbanization has expanded rapidly, leading to severe implications for human well-being and biodiversity. The rapid construction of cities has resulted in significant habitat loss, particularly in the context of anticipated climate changes. Identifying trends in forest restoration in urban areas based on scientific knowledge derived from environmental analysis can contribute to implementing adaptive and mitigating measures that support future public policies. Through the PRISMA method, this study aimed to locate scientific papers depicting restoration models in urban forests, focusing on assessing trends that facilitate these models' development for city regions subjected to temperature increases and drought episodes. This review shows that, despite the convergences in favour of ecological restoration in urban areas, the scientific knowledge applied to the proposition of models is still under construction. Most revised papers are oriented towards countries with temperate forests, while no articles were found for the tropics. Our results highlight the need for scientific assessments to establish forest restoration models in tropical and subtropical urban areas to direct efforts to create adaptation and mitigation measures in the face of climate change. These measures would promote ecological balance and the well-being of the local population.

Keywords: Climate Change, Resilient Cities, Sustainable Cities, Urban forests.

## INTRODUCTION

In the first decade of the 21st century, the human population living in cities surpassed the rural population for the first time in history. The trend of urbanization is accelerating, and it is expected that by 2035, 62% of the global population will reside in cities (UN Habitat, 2022), with severe implications for human well-being and health, as well as threats to biodiversity and the provision of ecosystem services due to rapid and unplanned urbanization (IPBES, 2021; Rodrigues et al., 2022). Urban lifestyles generally distance humans from direct contact with nature, as most medium-sized, large, and megacities predominantly comprise a grey infrastructure matrix. While some municipalities intensively promote green infrastructure (Laforteza and Sanesi et al., 2019), large cities in tropical regions have limited capacity to improve human well-being and face significant challenges in providing ecosystem services and supporting biodiversity (Oliveira et al., 2020).

Rapid urban growth facing countries in Africa, Asia, and Latin America has transformed natural landscapes at a rate that results in significant habitat losses, especially in areas designated as biodiversity hotspots (Weller et al., 2019). Tropical forests, in particular, continue to be converted for other land uses. Their coverage has suffered severe losses, mainly due to peri-urbanization, which can reduce and isolate forest remnants (Oliveira et al., 2020). The deforestation arc is reported in countries with high socioeconomic inequality and socioenvironmental vulnerability, including those in South and Central America, Africa, and Southeast Asia (Achard et al., 2014; Furumo and Aide, 2017; Houghton & Nassikas, 2017).

Countries transitioning from predominantly agricultural to industrial activities have a high potential to recover degraded land to forest systems. However, urban land rarely reverts to natural or agricultural systems (Grau et al., 2003), emphasising the importance of maintaining and restoring green ecosystems in cities. Undoubtedly, prior scientific knowledge of the dynamics of native and planted forests is essential for proper restoration, especially in highly anthropized environments. Restoring degraded forest fragments and even deforested lands is increasingly necessary to reestablish ecological balance and, consequently, the regional climate. This is particularly relevant since green infrastructure is crucial as urban resilience equipment during extreme climate events (Ramyar et al., 2021).

Despite urban forest fragments contributing significantly to people's overall well-being and quality of life (Lafortezza et al., 2018; Giannico et al., 2021), they have received less attention in ecological restoration programs than natural environments. It is worth highlighting that urban forests provide numerous ecosystem services for cities and humans (i.e., nutrient cycling, food supply, and climate regulation), especially in the perspective of physical and mental health benefits (Endreny et al., 2017; Iungman et al., 2023).

Numerous studies have highlighted green spaces as urban facilities that promote public health, reduce stress, and alleviate depression (Kondo et al., 2018; Astell-Burt et al., 2019; Sun et al., 2023), which has led some authors proposing the need to requalify urban green environments. However, this seems to not yet gained recognition from academia and mainstream public management in developing countries (Wallace & Clarkson, 2019; Bonilla-Bedoya et al., 2020; Croci et al., 2022).

Considering that there are models of urban ecological restoration to guide effective practices in different biomes (Hobbs & Harris, 2001), specific challenges such as heat islands, air pollution, and the introduction of exotic and invasive species are often not considered. These challenges have been timidly reported in urban restoration papers (Ribeiro et al., 2021). The scarcity of studies outlining protocols for restoring urban forests with high biological diversity limits their implementation, especially in urban territories within important biogeographic domains (e.g., Cerrado, Atlantic Forest and Amazon). Few papers published in important databases, e.g., Web of Science, are described in languages other than English, which limits the understanding and synthesis of the information.

This premise aligns with the urgent need to develop city adaptation models capable of addressing ecological droughts or extreme precipitation events, as projected for Latin America in the coming decades (Nunes et al., 2023). Therefore, reviewing previous studies on the topic could guide the planning of protocols by considering the similar and divergent characteristics of each region where the urban restoration model is applied.

In the ecological context, urban green spaces have gained prominence in recent years due to their crucial role in supporting biodiversity and ecosystem services (Douglas et al., 2020). However, the lack of applicable guidelines based on scientific knowledge complicates decision-making in urban restoration projects. It could also hinder the

acquisition of resources and the achievement of effective and sustainable results. Furthermore, the absence of a consolidated set of best practices can lead to failed attempts, resource wastage, and additional biodiversity loss. The urgency of these challenges is heightened by projections of extreme climatic events in the coming decades, which will increase pressure on cities and urban ecosystems.

Therefore, this study aimed to revise and discuss results on models of urban ecological restoration worldwide to propose guidelines for developing models for urban fragments, primarily focusing on the effects of anticipated climate changes. This synthesis will facilitate an understanding of how diverse approaches can be effectively operationalized in complex urban environments, supporting the development of individualized practices for each territory, considering ecological and socio-environmental aspects.

## **METHOD**

This study followed the guidelines of "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses" (PRISMA, 2023). The search for publications was conducted through the Web of Science database, which was updated in March 2023. We used the keywords "restoration ecology," "ecological restoration," "urban," "urban forest," and "cities" to find articles related to ecological restorations in urban environments. Additionally, "climate change" was included as a keyword to describe the contribution of science to urban ecological restorations with the theme. Book chapters were excluded from this search, as were articles not in English. There was no date limit to search for publications.

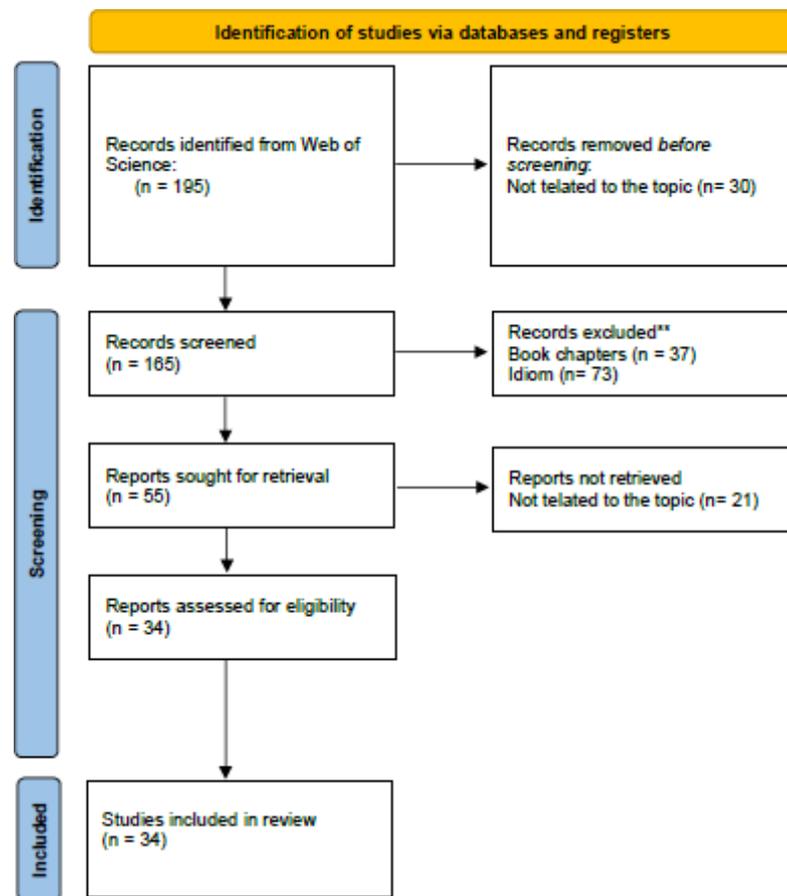
Choosing the Web of Science database as a source to search for publications is based on its credibility, interdisciplinary coverage, advanced research features, and access to up-to-date and reliable information. These aspects ensure the quality and relevance of the information collected for this review.

Once we identified the manuscripts, titles and abstracts were read for the initial exclusion of publications. Of the 195 articles found according to the search terms, 30 were excluded because they were unrelated to the topic. Articles were then selected for analytical reading of the abstracts, resulting in a second exclusion. Out of the total of 165 studies, 37 were excluded from the review because they were book chapters, and 73 for

not being in the English language.

The remaining 55 articles underwent a full manuscript reading. Twenty-one were not strictly related to the main search topic, and six articles were excluded for not focusing on the objectives of this review, even though they were initially selected after reading their respective abstracts. Finally, 34 articles were considered and technically analyzed within the scope of the PRISMA Systematic Review (PRISMA, 2023).

The article search and selection process are described in the Flowchart (Figure 1), following the inclusion and exclusion standards of the reviewed research.



**Figura 1-** Study flowchart.

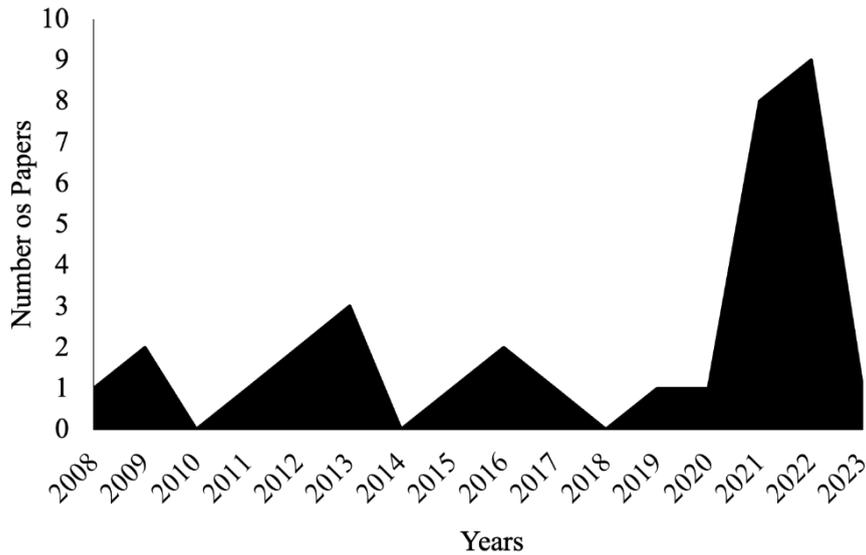
After reading the 34 manuscripts, textual analyses were conducted using the Iramuteq software (R 4.1.3) to identify word clusters, trends, and correlations in the texts of the selected papers. The abstracts of all manuscripts were formatted, resulting in summaries primarily composed of verbs and nouns. This method aimed to prevent the

clustering of manuscripts due to non-technical words, i.e., pronouns and articles. To understand the co-occurrences between words in the text and thus identify the connectivity between terms, a similarity analysis was performed with words having a minimum occurrence of '10' (Camargo, 2013). This generated a co-occurrence tree with a central core from which branches emerge, representing connections and the strength of connections between terms. A community analysis was also conducted to organize words that most frequently occur together in the texts (Salviati, 2017).

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Restoration models in urban forests around the world**

The chronological analysis of the assessed manuscripts reveals that between 2008 and 2020, the number of articles falling within the scope of this review was low. However, in recent years (2021-2022), the number of manuscripts about the restoration of urban ecosystems quadrupled (Figure 2). This increasing trend in articles from 2021 onwards might reflect local targets for achieving the 2030 Agenda, especially following the publication of reports from Working Groups I and II of the 6th report on climate change by the IPCC (IPCC, 2021, 2022). Added to this, the pandemic period showed the need to requalify urban green areas to promote well-being and minimize epidemiological risks (Spano et al., 2021; Ugolini et al., 2021; Davis and Sanesi, 2022).



**Figure 2** - Publication trend from 2008 to 2023 encompassing ecological restorations in urban fragments.

Among the countries with the highest number of published papers, China (n=17), the United States of America (n=5), New Zealand (n=3), and Australia (n=3) stand out. Canada had two publications, and Germany, Mexico, Switzerland, and Japan published one manuscript per country (Figure 3). These numbers reveal concerning scenarios. For example, there is only one study on this topic in Europe, which houses ancient cities and in Japan, a country with a small area and one of the largest populations positioned among the world's largest cities.

Although only two countries represent the global South in this review (i.e., Mexico and China), 52% of the studies are from this part of the world, with China leading and showing greater commitment to investigating this field of knowledge. This is likely due to China's Sustainable Development Goals (SDGs), which focus on sustainable development and reducing damage to ecosystems affected by urbanization (Chen et al., 2017; Yurui et al., 2021; Chen et al., 2022).

The 36% of the evaluated territories in nine countries had more than 10 million inhabitants, i.e., they were considered megacities. Despite the demographic size, urbanization in many developing countries does not translate into economic development and promotes the emergence of poor megacities with higher socioenvironmental vulnerability, weak economies, inadequate infrastructure, and fragile governance systems, deeply marked by corruption (Ferreira, 2023; Ferreira et al., 2023).

South America and Africa did not present any manuscripts with this approach,



challenges. In this review, models focused on the urban environment bring different perspectives depending on the context in which the restoration is embedded, considering regional aspects, as shown in Table 1. The manuscripts found present a variety of proposals for urban restorations in different political, social, and economic contexts. The studies and plans use different methodologies to identify the site to be restored. Remote sensing has generally been used as a site selection method (Yurui et al., 2021; Yu et al., 2012), which allows environmental, geological, and meteorological data to be identified through satellites, aeroplanes or drones, enabling spatial analysis and, consequently, more effective urban planning. Therefore, remote sensing proves to be an interesting methodology for ecological restoration planning in the urban environment.

Ecological restoration planning serves as an ally in seeking connectivity of natural areas, also known as sources, through ecological corridors that can promote the genetic flow of fauna and flora, seed dispersal, and increase vegetation cover in the area (Sun et al., 2021; Ran et al., 2022; Zhai & Huang, 2022; Zhang et al., 2022; Wang et al., 2022; Hou et al., 2023). Ecological corridors, strategically planned to enable connectivity, can promote environmental improvements and social benefits for the local community, making them a viable option for future ecological restorations.

These corridors, frequently depicted in studies also promote the Ecological Security Pattern (ESP) (Ran et al., 2022; Cao et al., 2022; Lv et al., 2022), ensuring a greater balance in the restored area. Ran et al. (2022) further highlight that identifying crucial areas for restoration significantly improves ecological connectivity. This study complements Cao et al., 2022, which emphasizes how changes in land use through planned restorations can provide higher quality to the ecosystem, improving ecological integrity. This can also be combined with circuit theory, which promotes the identification of ecological barriers, directing practices to restore and protect such areas (Lv et al., 2022).

**Table 1-** Ecological restoration models identified in this PRISMA review.

<b>Author</b>	<b>Year of publication</b>	<b>Journal</b>	<b>Considerations</b>
Bonilla-Rodriguez et al.	2021	Frontiers in Sustainable Cities	Assessment of the feasibility of restoring remnants on a university campus in Mexico City using the Restoration Need and Feasibility Index. This assessment was conducted from a multifactorial perspective, considering ecological, economic, and social criteria. All fragments showed a need for the restoration of native vegetation.
Chen et al.	2016	Urban Forestry & Urban Greening	The Ecological restoration model in urban areas considers Local Ecological Knowledge (LEK). The process involves various stages, such as investigating practices, skills, and existing measures related to LEK, exploring how and where LEK can inspire or integrate into the design, and assessing and testing the integration regarding its acceptance by local communities. The research revealed that LEK-based design was more valued than other conventional forms regarding user acceptance, suggesting that LEK provides ecologically sound and culturally desirable solutions for urban landscapes.
Clarkson & Kirby	2016	Ecological Management & Restoration	Urban restoration models in New Zealand are primarily focused on peri-urban environments, with the most common

			ones involving areas of up to 50 hectares. All projects reported in the study include planting native species to restore natural vegetation cover.
González- Molina	2021	Acta Botanica Mexicana	Cultural ecosystem services play an essential role in the participatory ecological restoration process, reinforcing the connection between the recovery of biophysical heritage and cultural aspects.
Hong et al.	2022	Discrete Dynamics in Nature and Society	Urban restoration model that divides restoration into quarry areas, vacant lots, slope protection, vegetation, and dam maintenance. The study indicates that thanks to the restoration of slope-side vegetation, vacant lot areas were reduced, as well as areas of ash deposits that were severely damaged.
Hou et al.	2023	Ecological Engineering	The 'Least Cost Path' (LCP) model is adopted to simulate ecological networks at a regional scale, based on a resistance map composed of various factors derived from high-resolution spatial data. Through this methodology, the least cost paths are identified and assessed according to their contribution to the connectivity of the entire ecological network.
Hu et al.	2022	Land	Methods for Landscape Index Analysis to Explore the Spatiotemporal Evolution of Landscape Patterns in Urban

			Areas. Urban landscapes have changed and should coordinate socioecological needs to determine restoration.
Huang et al.	2021	Land	Spatial Prioritization System for Ecological Restoration through Overlapping Analysis.
Johnson & Handel	2019	Urban Forestry & Urban Greening	Removal of invasive woody plant species and planting of native trees. The analysis revealed that restoration is only effective when it involves continuous and coordinated management efforts, enabling the optimization of recovery potential and the continuation of local species and communities.
Lin et al.	2022	Sustainability	Invasive species dominate urban forests due to the numerous changes these forests undergo in their daily environment. Urban ecological restoration is the pathway to restore native species in the region.
Liu et al.	2021	International Journal of Environmental Research and Public Health	Analysis of carbon sequestration in restored areas yielded positive results, nearly offsetting the negative effect of urbanization between 2000 and 2015.
McLain et al.	2012	Urban Forestry & Urban Greening	The analysis of an institutional framework standardizes the production and use of edible landscapes. Viewing urban forests as suppliers of goods can provide a more solid foundation for

			sustainability than the commonly used 'non-intervention' approach to urban restoration projects.
O'Meara & Darcovich	2015	Ecological Management & Restoration	The potential of the landscapes reconstructed in the park was not adequately considered in the restoration development phase. After 2001, ecological management aimed to increase landscapes' ecological values and functionality by restoring the remaining areas. Ecological monitoring and adaptive management have been ongoing to ensure the park's continued conservation and biodiversity.
Pavao-Zuckerman	2008	Restoration Ecology	The alteration of soils in urban areas promotes the invasion of non-native species, posing one of the major challenges to ecological restoration in these areas. It is necessary to manage the reference conditions for urban ecological restoration, considering soil alterations.
Ran et al. Cao et al. Lv et al.	2022 2022 2022	Ecological Indicators International Journal of Environmental Research and Public Health	Identifying a place for restoration to create an Ecological Security Pattern (ESP) to predict species diffusion and migration laws and identify multiple ecological corridors (Ran et al., 2022; Cao et al., 2022). This can be combined with circuit theory to identify ecological barriers and, thus, propose targeted strategies for restoring and protecting such areas (Lv et al., 2022).

		International Journal of Environmental Research and Public Health	
Schaefer	2009  2011	Restoration Ecology  Urban Ecosystem	Ecological memory (soil properties, local history, spores, seeds, stem fragments, mycorrhizae, species, and populations) can indicate a trajectory for ecological restoration. The loss of ecological memory can promote the establishment of invasive species. Documenting and conserving ecological memory is necessary for ecological restoration, removing the legacy of invasive plants.
Schröder & Kiehl	2020	Urban Forestry & Urban Greening	The restoration model aimed to increase the richness of native plant species using two seed mixtures of native species containing 38 species without affecting spontaneously colonizing species in the degraded site. The seeding affected these colonizing species only temporarily in the second year and combined with pruning, resulted in a reduction in woody species coverage and a lower frequency of invasive species.
Sinclair & Hobbs	2009	Restoration Ecology	The model recommends using a minimum of 30 plants for seed collection in restoration projects, where the restored population should contain similar genetic diversity to the source population.

Standish et al.	2013	Landscape Ecology	Nature conservation and restoration along riverbanks, restoration of remnants of urban fragments, management of new ecosystems, and cultivation of iconic species were classified. Urban restoration provides the greatest opportunity to obtain ecological benefits and promote increased interaction between humans and nature.
Takeuchi et al.	2017	Sustain Science	Identifying critical points for restoring areas affected by disasters is crucial to ensure local safety.
Wallace et al.	2022	Forests	Restoration project in which trees were planted annually (for 14 years) on public lands previously used for pasture. Over time, monitoring showed the appearance of groups of physiologically sensitive plants (such as mosses, ferns, and epiphytes) that can serve as indicators of succession. The study emphasizes the importance of continuous monitoring to assess restoration progress, manage forest development, and transform it into a self-sustaining and functional ecosystem.
Wang et al.	2021	Sustainability	Ecological restoration is subdivided into four zones, including the ecological conservation zone, ecological improvement zone, ecological control zone, and restoration zone. Each zone should receive individualized attention, considering the existing conditions.

Wang et al.	2022	Land	Identifying Ecological Source Areas Based on the Importance of Ecological Service Function and Ecological Sensitivity Using the Circuit Theory Model.
Yang et al.	2019	Sustainability	An analysis of changes in vegetation layout and environmental interaction (carbon sequestration, soil retention) revealed a 22% growth in urban areas. However, restoration efforts improved carbon storage, indicating that urban restorations can offset significant losses in urban areas.
Yu et al.	2013	Ecological Engineering	The Comprehensive Pollution Index (CPI) is the primary indicator of water quality to measure the diffuse pollution effects from urban areas. Increasing plant productivity, for example, through restoration in urban areas, is a more tangible and reliable way to restore water resources.
Yurui et al.	2021	Science of the Total Environment	Use of remote sensing data and local monitoring. The remaining natural and semi-natural areas are identified as ecologically primary areas. The overall connectivity of the main habitats is then analyzed to suggest an ecological corridor system to generate ecological connectivity and promote a habitable environment for society. These remote sensing data are a spatially explicit tool for resource managers to create a plan that best fits future development and conservation efforts.
Yu et al.	2012	Ecological Engineering	

Zhai & Huang	2022	Frontiers in Ecology and Evolution	Ecological networks emerged as the solution to protect regional sustainability, and Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) was used to identify ecological sources. To ensure the connectivity and effectiveness of ecological networks, it is necessary to prioritize bottlenecks and barriers in the restoration process.
Sun et al.	2021	Land	

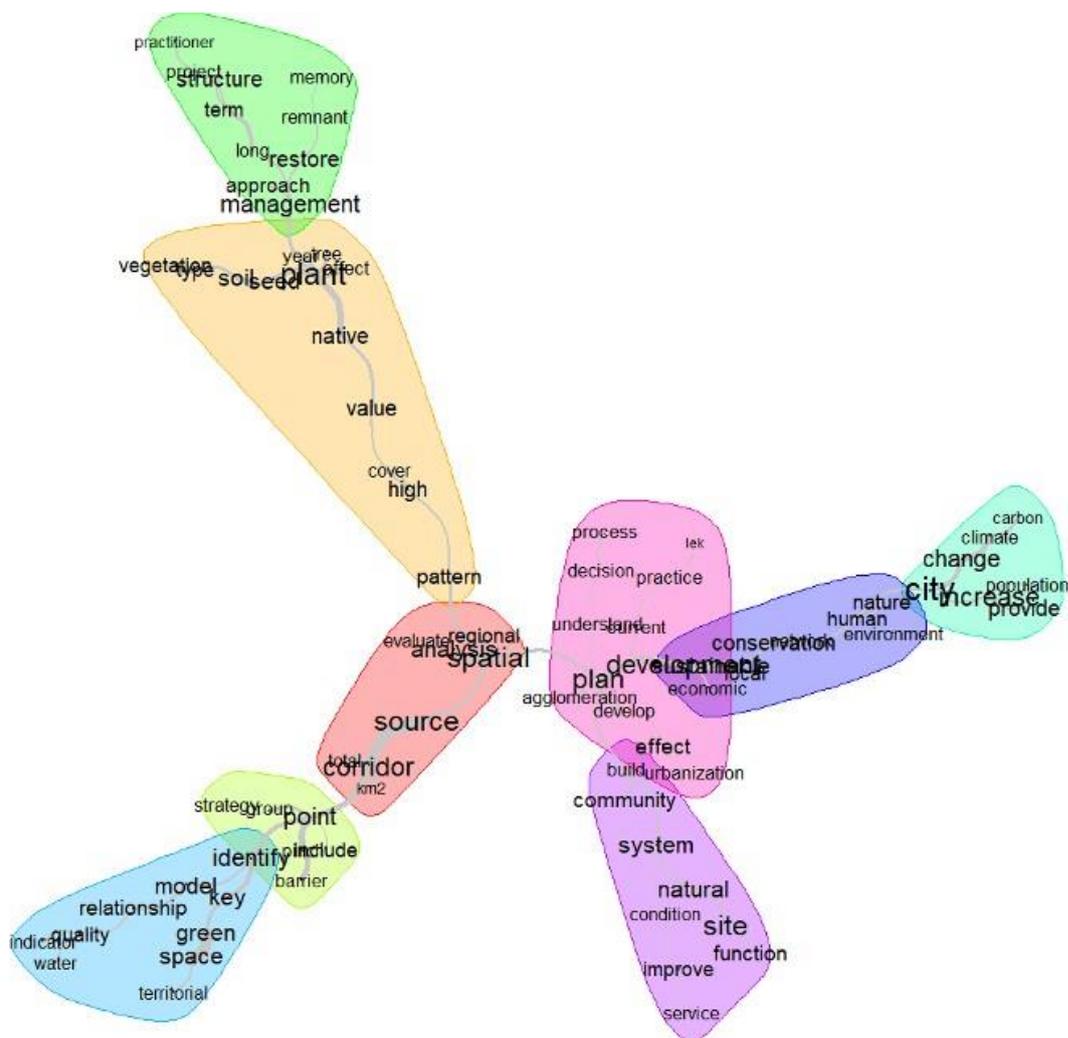
Although this review focuses on identifying models for urban forest restoration, it is important to incorporate the interests and needs of local communities, as the lack of stakeholder involvement can undermine the effectiveness and sustainability of ecological restoration initiatives. Clarkson & Kirby (2016) further establish urban restoration as a way to reconnect residents with nature, achieving social and ecological goals, highlighting the need to involve the interests of local communities in the process.

Restoration must consider the ecological and political aspects of the region. For example, lower tree density in restoration can facilitate management in certain cities (Silva et al., 2019), while greater tree density can be a great adaptation tool for climate change in urban environments (Buckeridge, 2015). Restoration solutions are diverse, given that the urban environment presents a heterogeneous and complex landscape (Silva et al., 2019). It is necessary to evaluate the entire context in which it is located – from the environment to be restored, the surrounding population, the management to be carried out and the restoration objectives.

### **Textual analysis of restoration models in urban forests**

For textual analysis, the compilation of summaries of the articles selected in this review (corpus) resulted in nine clusters (Figure 4), showing low similarity in the information coming from the manuscripts.

In the graph in Figure 4, it is observed that the larger the sphere, the greater the number of word evocations within the ecological restoration models. The clusters are interconnected by branches, representing the strength of their connections according to their greater or lesser thickness. Thus, the thicker the branch (gray color), the stronger the connection.



**Figure 4** - Word similarity analysis with a frequency equal to or greater than '10'.

The words within the green grouping indicate that many restoration papers consider the management of remaining areas, ecological memory, and the structure of the site's vegetation. This cluster of words demonstrates the importance of identifying Local Ecological Knowledge (LEK) and meeting the needs of citizens in urban ecological restorations to promote a green area with meaning for society and that makes sense for the region's flora (Chen et al. , 2016; Hong et al. , 2022; González-Molina et al., 2022). Understanding the local ecological memory is crucial for identifying species that best adapt to the location, promoting stability and resilience for the restored system (Schaefer, 2009), reinforcing the interaction between the local community and nature, and valuing urban restorations (Standish et al., 2013).

Just below the green grouping, 'Plant' is the largest cluster in the corpus and the most evoked term in the papers, associated mainly with words like 'native,' 'value,' 'pattern,' and 'soil.' These co-occurrences indicate the authors' attention to the choice of

species for restoration, identifying the importance of native species, generating ecological value for the restored area according to the natural vegetation cover, and following a pattern that promotes greater balance for the area (Sinclair & Hobbs 2009, Schaefer 2009, Schaefer 2011, Chen et al. 2016, Hong et al. 2022). Choosing native species also brings other benefits and favors fundamental ecosystem processes in forest productivity (e.g., nutrient cycling) (Ferreira et al., 2021). In this sense, ecological restoration in urban environments requires special attention to the abundance of alien species, thus prioritizing the widespread occurrence of native species (Schaefer, 2009; Schaefer, 2011).

Furthermore, Lin et al. (2022) and Schröder & Kiehl (2020) highlight the feasibility of using native herbaceous plants for restoration some green areas, ensuring rapid revegetation of the fragment. This strategy seems suitable for providing a pollinator niche and playing a scenic role in the urban landscape (Banhara et al., 2003).

On the other hand, the reddish colored cluster below 'Plants' suggests that connecting natural and urban environments through ecological corridors is a suitable strategy for restoring urban forests. Identifying and understanding crucial areas for ecological restoration is essential to promoting targeted practice (Ran et al., 2022), connecting internal and external city parts, and creating an ecological network (Zhai & Huang, 2022). These ecological corridors are essential to generate the necessary connectivity for urban ecological restorations, with an Ecological Security Pattern (ESP), as reported by Cao et al. (2022), to promote sustainable development through effective ecosystem management (Yu, 1996).

On the right side of the corpus, four intersecting clusters stand out, whose main co-occurrences were 'development', 'conservation', 'plan', 'site', 'natural', 'city' and 'change'. These words suggest that restoration models in urban forests should integrate their practices into sustainable development perspectives. This can be incorporated into municipal policies (e.g., urban forestry plans) and must also present interfaces with other urban challenges, especially those related to climate change.

Authors such as Liu et al. (2021) and Yang et al. (2019) emphasize the importance of including the restoration of urban forests in important Agendas (e.g., 2030 Agenda, Climate Agenda), where the positive impact of carbon sequestration from reforestation might neutralize, in parts, the negative effects of urbanization. Moreover, Yu et al. (2013) report that vital economic indicators in restored urban environments showed an annual growth of 1.5%, reinforcing the viability and importance of restoring nature in urban areas for economic development.

Additionally, Yurui et al. (2021) show that restoration of native forests in urban areas significantly controlled environmental problems related to urban water resources, reducing soil erosion processes, and preventing flood incidence in the city. This information highlights the importance of ecological restoration to adapt cities to the effects of extreme climatic events.

The intersection between two clusters in the lower left part of Figure 4 highlights the co-occurrences 'identification', 'model', 'key', 'point' and 'strategy', expressing the need to identify not just a fundamental model, which is a strategy for the recovery of urban environments, but also key places for restoration to be inserted in large centers. In this sense, there is a tendency to identify critical locations for the restoration and promotion of conservation of local flora, especially in papers published in China (Yu et al. 2012, Wang et al. 2022, Hou et al. 2023).

Likewise, a study carried out in Mexico highlighted the importance of choosing key locations to promote restoration (Bonilla-Rodriguez et al. 2021). Such strategy can be a strong ally of public management in territories with wide social inequality and spatial heterogeneity of urban forests, since citizens use these spaces to bring benefits to physical and mental health (Carrus et al., 2015; Spano et al., 2023). In the context of socio-environmental crisis, Wang et al. (2021) and McLain et al. (2012) propose the feasibility of restoring urban fragments through edible landscapes, i.e., restorations with plants commonly consumed by the local community so that these fragments can be significant for the population. This increases contact between society and nature – an aspect also highlighted by Chen et al. (2016) and Hong et al. (2022).

In this same spatial trend of prioritizing ecological restoration areas, the only Japanese paper included in this review also focused on natural hazards and disaster risk reduction through strategic ecological restoration sites. Areas with low urban suitability can be used to maintain biodiversity and promote ecosystem services (Takeuchi et al. 2017).

Hu et al. (2022) and Huang et al. (2021) emphasize the importance of identifying key areas to incorporate green infrastructure in cities and highlight that a target location should be degraded and highly anthropized areas. This identification can reestablish ecological patterns and processes inherent to biodiversity, increase gene flow, facilitate fauna movement and seed dispersal, making the restoration process more economically and ecologically viable (Hou et al. 2023).

Two authors of this review highlighted that one way to identify key areas for urban

forest restoration is through Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA), which diagnoses patches and habitat corridors that connect the landscape (Sun et al. 2021, Zhai & Huang 2022). This method uses land use data to extract natural ecological elements and other land use types through various means of image processing, emphasizing structural connection to identify landscape types crucial to maintaining connectivity and providing scientific support for selection. of ecological corridors (Ye et al. 2020).

Although the location of the fragment to be restored is a very important point, monitoring and monitoring the restoration process is equally necessary. Johnson & Handel (2019) emphasize that fragments restored with greater monitoring present greater ecological balance, thus promoting environmental gains. This highlights the importance of continuous management of restored areas given the rapid changes occurring in urban centers (Wallace et al., 2022; O'Meara & Darcovich, 2015). Monitoring the ecological restoration process can be done with the involvement of different actors, through formal and lasting meetings, increasing the gains of the process, and making decisions more assertive (Clarkson & Kirby, 2016).

The term 'pollution' was absent in the similarity analyses. However, this is an essential aspect to be considered in ecological restoration processes, as it is desirable that the species chosen are tolerant to particulate and/or gaseous pollutants. When well managed and positioned, tree density can serve as an action to mitigate atmospheric pollution by reducing the dispersion of particulate matter over long distances (Martins et al., 2021). In this review, only Yu et al. (2013) addressed this aspect in a study on water quality indicators to measure the effects of diffuse pollution in urban areas, which showed that restored areas promote better water quality in the region.

## **CONCLUSION**

Ecological restoration in urban environments is still at an embryonic stage, although models have gained prominence over the years. The articles in this review point to a vast heterogeneity of interest in the subject across the globe, with massive emphasis on China, although there are a greater number of countries from the global North represented in this work. South America, Africa, the Middle East and Europe were underrepresented in this review.

In general, interest in the subject became more evident after the pandemic, when

a greater need to expand qualified urban green areas probably emerged. Existing models converge on some points, such as the use of native species in the restoration of urban forests and the promotion of landscapes connected through ecological corridors. Territorial particularities must be considered when choosing environments to be restored, i.e., the target location can aim to minimize disaster risks or to promote restored environments with species edible by humans, thus meeting socio-environmental demands.

It is recommended that this subject be widely investigated by the scientific community so that urban planners and stakeholders can have more tools for decision-making, especially when it comes to city adaptation strategies for extreme events.

### **Declaration of Competing Interest**

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

### **Acknowledgements**

The authors thank the “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq).

### **REFERENCES**

- Achard, F., et al. (2014). **Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010**. *Global change biology*, 20(8), 2540-2554.  
<https://doi.org/10.1111/gcb.12605>
- Astell-Burt, T., & Feng, X. (2019). **Association of urban green space with mental health and general health among adults in Australia**. *JAMA network open*, 2(7), e198209-e198209.
- Banhara, J. R. et al. **Proposta de adequação ambiental e paisagística do trecho urbano do Rio Piracicaba e entorno**. *Agropecuária; resumos*, 2003.

- Bonilla-Bedoya, S., et al. (2020). **Forests and urban green areas as tools to address the challenges of sustainability in Latin American urban socio-ecological systems.** *Applied Geography*, 125, 102343.
- Bonilla-Rodríguez, M. et al. (2021) **Urban Ecological Restoration: Setting Priorities for Restoring Native Vegetation in Lava Field Remnants in Mexico City.** *Frontiers in Sustainable Cities*, v. 3, 1 jan. 2021.
- Bühne, H. S., & Pettorelli, N. (2023). **Perspectives: Predicting the effects of climate change on ancient woodlands when it interacts with pressures from surrounding land use/land cover.** *Forest Ecology and Management*, 544, 121236.
- Camargo, B. V.; Justo, A. M. (2013). **IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais.** *Temas psicol.*, Ribeirão Preto , v. 21, n. 2, p. 513-518, dez. 2013 . Disponível em <[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-389X2013000200016&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X2013000200016&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 21 ago. 2023. <http://dx.doi.org/10.9788/TP2013.2-16>.
- Carrus, G., Scopelliti, M., Laforteza, R., Colangelo, G., Ferrini, F., Salbitano, F., ... & Sanesi, G. (2015). Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and urban planning*, 134, 221-228.
- Cao, X. et al. **Integrating the Ecological Security Pattern and the PLUS Model to Assess the Effects of Regional Ecological Restoration: A Case Study of Hefei City, Anhui Province.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 11, p. 6640, 29 maio 2022.

- Chen, C. et al. **Incorporating local ecological knowledge into urban riparian restoration in a mountainous region of Southwest China.** *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 20, p. 140–151, dez. 2016.
- Chen, W. Y., Hu, F. Z. Y., Li, X., & Hua, J. (2017). Strategic interaction in municipal governments' provision of public green spaces: A dynamic spatial panel data analysis in transitional China. *Cities*, 71, 1-10.
- Chen, W. Y., Wang, C., & Su, Y. (2022). Urban Forest Planning and Policy in China. In *Green Infrastructure in Chinese Cities* (pp. 55-68). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Clarkson, B. D.; Kirby, C. L. **Ecological restoration in urban environments in New Zealand.** *Ecological Management & Restoration*, v. 17, n. 3, p. 180–190, set. 2016.
- Croci, E., Lucchitta, B., & Penati, T. (2022). **An urban PES model for diffused green areas requalification and maintenance in Milan.** *Environmental Science & Policy*, 130,4760.
- Endreny T, Santagata R, Perna A, Stefano CD, Rallo RF, Ulgiati S. 2017. Implementing and managing urban forests: A much needed conservation strategy to increase ecosystem services and urban wellbeing. *Ecological Modelling*. 360:328–335.
- Davies, C., & Sanesi, G. (2022). COVID-19 and the importance of urban green spaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127654.
- Demuzere, M.; Kittner, J.; Bechtel, B. **LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps.** *Frontiers in Environmental Science*, v. 9, 23 abr. 2021.
- Douglas, I., Anderson, P.M.L., Goode, D., Houck, M.C., Maddox, D., Nagendra, H., & Tan, P.Y. (Eds.). (2020). **The Routledge Handbook of Urban Ecology** (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429506758>

- Endreny, T. et al. **Implementing and managing urban forests: A much needed conservation strategy to increase ecosystem services and urban wellbeing.** *Ecological Modelling*, v. 360, p. 328–335, set. 2017.
- Ferreira, M. L. (2023). Extreme rain event highlights the lack of governance to face climate change in the Southeastern coast of Brazil. *Geography and Sustainability*, 5, 29-32.
- Ferreira, M. L., Dalmas, F. B., Santanna, M., Rodrigues, E. A., & Sodré, M. G. (2023). **Sustainable development in São Paulo's Green Belt Biosphere Reserve: between the void of municipal environmental policies and the ecosystem management of the territory.** *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 12(1). <https://doi.org/10.5585/2023.22940>
- Ferreira, M. L., Barbosa, M. F., Gomes, E. P. C., do Nascimento, A. P. B., de Luca, E. F., da Silva, K. G., ... & Laforteza, R. (2021). Ecological implications of twentieth century reforestation programs for the urban forests of São Paulo, Brazil: a study based on litterfall and nutrient cycling. *Ecological Processes*, 10(1), 1-13.
- Fontaine, L. C., & Larson, B. M. (2016). **The right tree at the right place? Exploring urban foresters' perceptions of assisted migration.** *Urban Forestry & Urban Greening*, 18, 221-227. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.010>
- Furumo, P. R., & Aide, T. M. (2017). **Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade.** *Environmental Research Letters*, 12(2), 024008.
- Giannico, V., Spano, G., Elia, M., D'Este, M., Sanesi, G., & Laforteza, R. (2021). Green spaces, quality of life, and citizen perception in European cities. *Environmental research*, 196, 110922.

- González Molina, Z. et al. **Participatory ecological restoration and cultural ecosystem services: a necessary relationship.** *Acta Botánica Mexicana*, n. 129, p. 60, 2022.
- Grau, H. R., Aide, T. M., Zimmerman, J. K., Thomlinson, J. R., Helmer, E., & Zou, X. (2003). **The ecological consequences of socioeconomic and land-use changes in postagriculture Puerto Rico.** *BioScience*, 53(12), 1159-1168.
- Haaland, C., & van Den Bosch, C. K. (2015). **Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review.** *Urban forestry & urban greening*, 14(4), 760-771.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009>
- Hobbs, R.J. & Harris, J.A. 2001. **Restoration Ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millennium.** *Restoration Ecology*, 9 (2): 239-246.
- Hobbs, R. J. 2005. The future of restoration ecology: challenges and opportunities. *Restoration Ecology*. 13: 239-241.
- Hong, L. et al. **Strategies of GIS-Based Urban Country Park Planning and Ecological Restoration.** *Discrete Dynamics in Nature and Society*, v. 2022, p. 1–10, 22 set. 2022.
- Hou, W.; ZHAI, L.; WALZ, U. **Identification of spatial conservation and restoration priorities for ecological networks planning in a highly urbanized region: A case study in Beijing-Tianjin-Hebei, China.** *Ecological Engineering*, v. 187, p. 106859, 1 fev. 2023.
- Houghton, R. A. & Nassikas, A. A. **Global and regional fluxes of carbon from land use and land cover change 1850-2015.** *Global Biogeochemical Cycles*, v. 31, n. 3, p. 456–472, mar. 2017.

Hu, X.; Xu, W.; Li, F. **Spatiotemporal Evolution and Optimization of Landscape Patterns Based on the Ecological Restoration of Territorial Space**. *Land*, v. 11, n. 12, p. 2114, 1 dez. 2022.

Huang, J.; Wang, Y.; Zhang, L. **Identifying Spatial Priority of Ecological Restoration Dependent on Landscape Quality Trends in Metropolitan Areas**. *Land*, v. 11, n. 1, p. 27, 24 dez. 2021.

IPBES (2021) **Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change**; IPBES secretariat, Bonn, Germany, <http://doi.org/10.5281/zenodo.4659158>

IPCC, 2021: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

IPCC, 2022: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

Iungman, T., Cirach, M., Marando, F., Barboza, E. P., Khomenko, S., Masselot, P., ... & Nieuwenhuijsen, M. (2023). **Cooling cities through urban green infrastructure:**

**a health impact assessment of European cities.** *The Lancet*, 401(10376), 577-589.

Johnson, L. R.; Handel, S. N. **Management intensity steers the long-term fate of ecological restoration in urban woodlands.** *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 41, p. 85–92, maio 2019.

Kondo, M. C., Fluehr, J. M., McKeon, T., & Branas, C. C. (2018). **Urban green space and its impact on human health.** *International journal of environmental research and public health*, 15(3), 445.

Laforteza, R., Chen, J., Van Den Bosch, C. K., & Randrup, T. B. (2018). Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental research*, 165, 431-441.

Laforteza, R., & Sanesi, G. (2019). Nature-based solutions: Settling the issue of sustainable urbanization. *Environmental research*, 172, 394-398.

Lin, C.-Y. et al. **Composition Characteristics of an Urban Forest Soil Seed Bank and Its Influence on Vegetation Restoration: A Case Study in Dadu Terrace, Central Taiwan.** *Sustainability*, v. 14, n. 7, p. 4178, 31 mar. 2022.

Liu, C. et al. **Simulation and Analysis of the Effects of Land Use and Climate Change on Carbon Dynamics in the Wuhan City Circle Area.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 21, p. 11617, 1 jan. 2021.

LV, L. et al. **Ecological Restoration Strategies for Mountainous Cities Based on Ecological Security Patterns and Circuit Theory: A Case of Central Urban Areas in Chongqing, China.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 24, p. 16505, 1 jan. 2022.

Martins, A. P. G., Ribeiro, A. P., Ferreira, M. L., Martins, M. A. G., Negri, E. M., Scapin, M. A., ... & Laforteza, R. (2021). Infraestrutura verde para monitorar e minimizar os impactos da poluição atmosférica. *Estudos Avançados*, 35, 31-57.

- McKinney, M. L., & Lockwood, J. L. 1999. **Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction.** Trends in Ecology & Evolution, 14(11), 450–453.
- McLain, R. et al. **Producing edible landscapes in Seattle’s urban forest.** Urban Forestry & Urban Greening, v. 11, n. 2, p. 187–194, jan. 2012.
- Mittermeier, R., et al. (2004) **Hotspots Revisited. Earth’s Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**, Volume 392. - References - Scientific Research Publishing. Disponível em: <[https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55.\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2728553](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55.))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2728553)>. Acesso em: 22 ago. 2023.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). **Biodiversity hotspots for conservation priorities.** Nature, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Nadir, M.; Tybusch, J, S.; Araújo, L. B. E. **A diplomacia ambiental no sul global: um olhar sobre África e América Latina.** Justiça do Direito, v. 34, n. 1, p. 314–363, 30 abr. 2020.
- Neto, H. **Biodiversidade em crise : extinções, invasões e homogeneização biótica no antropoceno.** Repositorio.unb.br, 21 fev. 2018.
- Nunes, L. H., Gabriel, G. H., & Marengo, J. A. (2023). More Erratic and More Extreme: Trends in Precipitation in the State of São Paulo, Brazil. *American Journal of Climate Change*, 12(1), 140-171.
- Oliveira, M. T., Silva, J. L., Cruz-Neto, O., Borges, L. A., Girao, L. C., Tabarelli, M., & Lopes, A. V. (2020). **Urban green areas retain just a small fraction of tree reproductive diversity of the Atlantic Forest.** Urban Forestry & Urban Greening, 54, 126779. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126779>

- O'Meara, J.; Darcovich, K. **Twelve years on: Ecological restoration and rehabilitation at Sydney Olympic Park.** *Ecological Management & Restoration*, v. 16, n. 1, p. 14–28, jan. 2015.
- Ostoić, S. K., Salbitano, F., Borelli, S., & Verlič, A. (2018). **Urban forest research in the Mediterranean: A systematic review.** *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.005>
- PAVAO-ZUCKERMAN, M. A. **The Nature of Urban Soils and Their Role in Ecological Restoration in Cities.** *Restoration Ecology*, v. 16, n. 4, p. 642–649, dez. 2008.
- PAVIANI, A. **Urbanização: Impactos Ambientais da População.** *Revista Bioética*, v. 4, n. 2, 1996.
- Percival, G. C. (2023). **Heat Tolerance of Urban Tree Species-A Review.** *Urban Forestry & Urban Greening*, 128021. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128021>
- Pereira, M. A. G., Domingos, M., da Silva, E. A., Aragaki, S., Ramon, M., de Camargo, P. B., & Ferreira, M. L. (2022). Isotopic composition ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) in the soil-plant system of subtropical urban forests. *Science of The Total Environment*, 851, 158052.
- PMMA (2024) Library of Municipal Plans of the Atlantic Forest. Viewed at: <https://pmma.etc.br/biblioteca/>. Accessed in: January 22, 2024.
- PRISMA (2023) – **Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses.** <https://prisma-statement.org/>
- Ramon, M., Ribeiro, A. P., Theophilo, C. Y. S., Moreira, E. G., de Camargo, P. B., de Bragança Pereira, C. A., ... & Ferreira, M. L. (2023). Assessment of four urban forest as environmental indicator of air quality: A study in a brazilian megacity. *Urban Ecosystems*, 26(1), 197-207.

- Ramyar, R., Ackerman, A., & Johnston, D. M. (2021). **Adapting cities for climate change through urban green infrastructure planning**. *Cities*, 117, 103316.
- Ran, Y. et al. **Identification of crucial areas of territorial ecological restoration based on ecological security pattern: A case study of the central Yunnan urban agglomeration, China**. *Ecological Indicators*, v. 143, p. 109318, 1 out. 2022.
- Ribeiro, A. et al. **Restoration potential of eight tree species from a seasonally dry tropical forest in southeast Piauí, Brazil**. *CERNE*, v. 27, p. e, 20 set. 2021.
- Rodrigues, E. A., Ferreira, M. L., de Carvalho, A. R., Bustillos, J. O. W. V., Victor, R. A. B. M., Sodr , M. G., & de Andrade, D. A. (2022). **Land, Water, and Climate Issues in Large and Megacities under the Lens of Nuclear Science: An Approach for Achieving Sustainable Development Goal (SDG11)**. *Sustainability*, 14(20), 13646. <https://doi.org/10.3390/su142013646>
- Rodrigues, E.A.; Carvalho, A.R.; Ferreira, M.L.; Victor, R.A.B.M.; Luca, E.F.; Rocha, G.C.; Carvalho, B.R.; Bustillos, J.O.W.V.; Sodr , M.G.; Oliveira, M.C.; Jurema, B.; Andrade, D.A.; (2023) **On the way to the crowd: human mobility and biodiversity crises in large and megacities under climate change**. [IN PRESS]
- Salviati, M. (2017) **Manual do Aplicativo Iramuteq**. Disponível em: <<http://www.iramuteq.org/documentation/fichiers/manual-do-aplicativo-iramuteq-par-maria-elisabeth-salviati>>.
- Schaefer, V. H. **Alien Invasions, Ecological Restoration in Cities and the Loss of Ecological Memory**. *Restoration Ecology*, v. 17, n. 2, p. 171–176, mar. 2009.
- Schaefer, V. H. **Remembering our roots: A possible connection between loss of ecological memory, alien invasions and ecological restoration**. *Urban Ecosystems*, v. 14, n. 1, p. 35–44, 12 ago. 2011

- Schröder, R.; KIEHL, K. **Ecological restoration of an urban demolition site through introduction of native forb species.** *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 47, p. 126509, jan. 2020.
- SER – Society for Ecological Restoration. 2004. **Science & Policy Working Group. The SER International primer on ecological restoration.** <[http://www.ser.org/content/ecological\\_restoration\\_primer.asp](http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp)>.
- Sette de Almeida, D. 2016. **Recuperação ambiental Mata Atlântica.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402.pdf>>.
- Sinclair, E. A.; HOBBS, R. J. **Sample Size Effects on Estimates of Population Genetic Structure: Implications for Ecological Restoration.** *Restoration Ecology*, v. 17, n. 6, p. 837–844, nov. 2009.
- Spano, G., D’Este, M., Giannico, V., Elia, M., Cassibba, R., Laforteza, R., & Sanesi, G. (2021). Association between indoor-outdoor green features and psychological health during the COVID-19 lockdown in Italy: A cross-sectional nationwide study. *Urban forestry & urban greening*, 62, 127156.
- Spano, G., Ricciardi, E., Theodorou, A., Giannico, V., Caffò, A. O., Bosco, A., ... & Panno, A. (2023). Objective greenness, connectedness to nature and sunlight levels towards perceived restorativeness in urban nature. *Scientific Reports*, 13(1), 18192.
- Standish, R. J.; HOBBS, R. J.; MILLER, J. R. **Improving city life: options for ecological restoration in urban landscapes and how these might influence interactions between people and nature.** *Landscape Ecology*, v. 28, n. 6, p. 1213–1221, 24 maio 2013.

- Sun, H.; Liu, C.; Wei, J. **Identifying Key Sites of Green Infrastructure to Support Ecological Restoration in the Urban Agglomeration.** *Land*, v. 10, n. 11, p. 1196, 5 nov. 2021.
- Sun, Y., Molitor, J., Benmarhnia, T., Avila, C., Chiu, V., Slezak, J., ... & Wu, J. (2023). **Association between urban green space and postpartum depression, and the role of physical activity: a retrospective cohort study in Southern California.** *The Lancet Regional Health–Americas*, 21.
- Tabarelli, M. et al. (2010) **Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes.** *Biological Conservation*, v. 143, n. 10, p. 2328-2340, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.005>
- Takeuchi, K. et al. **Using sustainability science to analyse social–ecological restoration in NE Japan after the great earthquake and tsunami of 2011.** *Sustainability Science*, v. 9, n. 4, p. 513–526, 21 ago. 2014.
- Ugolini, F., Massetti, L., Pearlmutter, D., & Sanesi, G. (2021). Usage of urban green space and related feelings of deprivation during the COVID-19 lockdown: Lessons learned from an Italian case study. *Land use policy*, 105, 105437.
- UN-Habitat (2022) **World Cities Report 2022: Envisaging the future of cities**, 422p. [https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr\\_2022.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf) . Accessed 17 jul. 2023
- Wallace, K. J., & Clarkson, B. D. (2019). **Urban forest restoration ecology: a review from Hamilton, New Zealand.** *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 49(3), 347-369.

- Wallace, K. J.; Clarkson, B. D.; Farnworth, B. **Restoration Trajectories and Ecological Thresholds during Planted Urban Forest Successional Development.** *Forests*, v. 13, n. 2, p. 199, 27 jan. 2022.
- Wang, Z. et al. **Research on Landscape Pattern Construction and Ecological Restoration of Jiuquan City Based on Ecological Security Evaluation.** *Sustainability*, v. 13, n. 10, p. 5732, 20 maio 2021.
- Wang, Z. et al. **Identifying Key Areas of Green Space for Ecological Restoration Based on Ecological Security Patterns in Fujian Province, China.** *Land*, v. 11, n. 9, p. 1496, 1 set. 2022.
- Web Of Science (2023). Disponível em: <<https://www.webofscience.com/>>.
- Weller R et al (2019) Hotspot cities: **Identifying peri-urban conflict zones.** *Journal of Landscape Architecture*, v. 14, n. 1, p. 8-19.  
<http://doi.org/10.1080/18626033.2019.1623542>
- Yang, Y. et al. **Temporal Changes in Multiple Ecosystem Services and Their Bundles Responding to Urbanization and Ecological Restoration in the Beijing–Tianjin–Hebei Metropolitan Area.** *Sustainability*, v. 11, n. 7, p. 2079, 8 abr. 2019.
- Ye, H.; Yang, Z.; Xu, X. **Ecological Corridors Analysis Based on MSPA and MCR Model—A Case Study of the Tomur World Natural Heritage Region.** *Sustainability*, v. 12, n. 3, p. 959, 1 jan. 2020.
- Yu, K., 1996. **Security patterns and surface model in landscape ecological planning.** *Landsc. Urban Plann.* 36, 0-17.
- Yu, D. et al. **Ecological restoration planning based on connectivity in an urban area.** *Ecological Engineering*, v. 46, p. 24–33, set. 2012.

- Yu, D. et al. **Detecting land use-water quality relationships from the viewpoint of ecological restoration in an urban area.** Ecological Engineering, v. 53, p. 205–216, abr. 2013.
- Yurui, L. et al. **Towards the progress of ecological restoration and economic development in China's Loess Plateau and strategy for more sustainable development.** Science of The Total Environment, v. 756, p. 143676, 20 fev. 2021.
- Zhai, T. & Huang, L. **Linking MSPA and Circuit Theory to Identify the Spatial Range of Ecological Networks and Its Priority Areas for Conservation and Restoration in Urban Agglomeration.** Frontiers In Ecology And Evolution, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-16, 2 fev. 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fevo.2022.828979>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Considerando a importância do bioma da Mata Atlântica e a sua degradação intensiva ao longo dos anos, restaurar se torna não somente importante, mas também necessário. Porém, os estudos voltados para a restauração de tal bioma ainda se mostram em construção quando vinculados com mudanças climáticas – buscar compreender a resposta das espécies utilizadas para restauração ecológica frente ao futuro cenário climático é essencial para realizar projetos tolerantes.

Ao voltar o olhar para restauração em fragmentos urbanos de Mata Atlântica a situação se mostra ainda mais preocupante e, uma via para gerar um modelo de restauração para tal contexto é utilizar referências em restauração de outros biomas que podem revelar um possível caminho a ser seguido para gerar um modelo de restauração adaptado para a Mata Atlântica, levando em conta as indicações, principalmente, de **diagnóstico da área e monitoramento da restauração** aplicadas em outros países.

Modelos de restauração ecológica urbana vem ganhando força ao longo dos anos, porém ainda se mostram em construção, apesar de apresentarem convergências. O ponto de partida vem sendo relatado com a escolha da área a ser restaurada, com recorrência da Análise de Padrão Espacial Morfológico (MSPA) a fim de construir um Padrão de Segurança Ecológica (ESP) com conectividade entre ambientes naturais e urbanos. No ambiente natural, por sua vez, mitigar os efeitos das mudanças climáticas através de espécies nativas tolerantes pode ser uma via para conservação do bioma que abriga uma das maiores biodiversidades do mundo.

Em um momento crucial em que as mudanças climáticas ameaçam a estabilidade dos ecossistemas, a restauração ecológica emerge como uma ferramenta indispensável na luta pela conservação da Mata Atlântica. É imperativo reconhecer que não podemos mais adiar a ação decisiva necessária para reverter os danos causados à nossa biosfera. Devemos reconhecer a restauração como um investimento fundamental não apenas para o presente, mas também para as gerações futuras. Somente através de esforços concertados, apoiados pela ciência e pela ação coletiva, podemos garantir a resiliência dos ecossistemas urbanos e naturais, oferecendo um futuro sustentável para o nosso planeta e suas diversas formas de vida.

Em suma, a projeção das mudanças climáticas para o globo traz à tona a necessidade de restaurar locais de modo que sejam tolerantes às alterações e, ao mesmo tempo, de buscar na restauração ecológica uma saída para conter o aumento de temperatura. Portanto, mobilizar esforços da Ciência para compreender a resposta de espécies atualmente indicadas para Restauração Ecológica em fragmentos de Mata Atlântica, naturais e urbanos, para, desta forma, promover ecossistemas tolerantes para o futuro se mostra como uma possível saída para conservação – um dos maiores desafios do século.

## ANEXOS

### 1. Tabela revisão sistemática – Capítulo 1

Referência	Área de estudo	Objetivos	Resultados
<b>Richit et al. (2020)</b>	Bacia do Rio Uruguai (Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina)	Realizar projetos de restauração ecológica baseados em prognósticos através do crescimento logístico difusivo (DLG) para planejar e avaliar a viabilidade da restauração.	A metodologia foi aplicada em 4 áreas do bioma Mata Atlântica e os resultados apontaram que o modelo DLG permite que os prováveis resultados do manejo e práticas possam ser avaliados com antecedência. Dessa forma, o modelo pode ser adaptado para determinada área e as condições climáticas locais, por meio da calibração com dados de imagens de satélite disponíveis. Através do modelo, a Mata Atlântica apresenta o potencial para alcançar recuperação quase completa após cinco décadas por apresentar uma elevada taxa de crescimento
<b>Rosado et al. (2015)</b>	Parque Estadual da Serra do Mar – São Paulo (Brasil)	Compreender o uso da água pelas espécies em fragmentos de Mata Atlântica de acordo com a sazonalidade.	Existem restrições de uso de água para árvores da floresta tropical quando expostas a maior radiação solar e menor umidade do solo. Isso sugere que mudanças nos padrões de chuva nessas regiões podem impactar consideravelmente a estrutura e o funcionamento da floresta. Locais montanhosos podem ser mais vulneráveis às mudanças climáticas devido à redução nos eventos de neblina (importante fonte de água para a espécies locais).
<b>Ledru et al. (2007)</b>	Serra Campos Gerais – Minas Gerais (Brasil)	Caracterizar a distribuição passada e moderna das coníferas do sul do Brasil e obter novas informações sobre a distribuição da Mata Atlântica através de dados de herbários para localizar as populações de 3 espécies endêmicas de coníferas.	Espécies de coníferas endêmicas estão amplamente distribuídas no leste do Brasil.
<b>Moreira et al. (2018)</b>	Viçosa – Minas Gerais (Brasil)	Examinar o potencial de um sistema agroflorestal com a espécie nativa macaúba ( <i>Acrocomia aculeata</i> ) para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na produção de café.	A produtividade de sistemas agroflorestais foi eficaz com uma distância de 4,2m entre palmeiras e fileiras de café. A agrofloresta de cafeeiro com macaúba pode ser uma estratégia de adaptação à futura variabilidade climática de elevadas temperaturas e seca.

<b>Oda et al. (2016)</b>	Serra dos Órgãos – Rio de Janeiro (Brasil)	Investigar o comportamento de germinação de <i>Lytocaryum weddellianum</i> ao longo de gradientes climáticos em duas altitudes na Serra dos Órgãos (RJ).	Sementes em regiões com altitude mais baixa (temperatura e umidade elevada) apresentaram taxas de germinação mais altas, com sementes mais pesadas, com as mudas direcionando maior investimento para raiz e biomassa total. Já as mudas de altas altitudes (menos luz disponível) direcionaram investimentos para parâmetros foliares. Essas diferenças de estratégias de estabelecimento indicam que a espécie pode ter o potencial de se adaptar às mudanças climáticas previstas na região.
<b>McCulloch et al. (2020)</b>	Bahia (Brasil)	Investigar como as mudanças na disponibilidade de água e nutrientes afetará a fixação simbiótica de nitrogênio em leguminosas.	A seca reduziu a biomassa dos nódulos, além da atividade da nitrogenase e de acetileno por muda, porém a resposta não foi linear: cada muda respondeu de uma forma e em uma frequência. Logo, prever a resposta de fixação simbiótica de nitrogênio frente às mudanças climáticas significa lidar com uma diversidade de respostas entre os fixadores de nitrogênio.
<b>Castro et al. (2019)</b>	Bioma da Mata Atlântica Brasileiro (Brasil)	Entender os direcionadores ambientais da distribuição e vulnerabilidade climática de <i>Araucaria angustifolia</i> no Brasil, modelando a extensão de nichos climáticos disponíveis para as espécies no clima atual e nos futuros cenários climáticos.	Priorizar e expandir áreas protegidas em importantes serras serão essenciais para a proteção da espécie <i>in situ</i> e para salvaguardá-la de mais perda de habitat.
<b>Teixeira et al. (2016)</b>	Curitiba, Paraná (Brasil) Serra Geral (centro-sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina) Osório, Rio Grande do Sul (Brasil) Sapiranga, Rio Grande do Sul (Brasil)	Investigar os efeitos das mudanças climáticas passadas sobre a diversidade de <i>Passiflora actínia</i> , usando dados nucleares e marcadores de plastídeos.	A diversificação da espécie foi datada no Pleistoceno, sugerindo que as mudanças climáticas poderiam ter influenciado a distribuição da diversidade genética de <i>Passiflora actínia</i> . A espécie persistirá nas terras altas e será reduzida nas terras baixas, especialmente com maior emissão de gases de Efeito Estufa. A perda de habitat devido ao desmatamento na Mata Atlântica constitui um dos principais riscos para essa espécie, especialmente para populações pequenas ou com baixos índices de diversidade.
<b>Gaspar et al (2021)</b>	Bioma da Mata Atlântica (Brasil, Argentina,	Investigar o impacto das mudanças climáticas (atuais e previstas para 2050) na distribuição e	A maioria das espécies tende a ter sua distribuição reduzida, assim a riqueza de espécies tende a diminuir no futuro. A diversidade, por sua vez, tende a não se alterar na escala regional, mas

	Paraguai e Uruguai)	diversidade de espécies da família Cyrantheaceae.	alguns locais podem ter sua composição afetada. Unidades de Conservação (UCs) da Mata Atlântica abrigam maior diversidade dessas espécies.
<b>Wagner et al. (2020)</b>	Bioma da Mata Atlântica localizado no Estado de São Paulo (SP)	Compreender a história da degradação e regeneração de remanescentes de Mata Atlântica no estado de São Paulo (SP) através de um conjunto de imagens georreferenciadas que mapeiam a cobertura florestal, principalmente de duas espécies: <i>Cecropia hololeuca</i> e <i>Tibouchina pulchra</i> .	As florestas naturais são atualmente encontradas com mais frequência nas encostas voltadas para o sul, provavelmente por causa da morfologia e do uso da terra no passado. A espécie <i>Tibouchina pulchra</i> está restrita às regiões mais úmidas e indica claramente a regeneração da floresta, já que quase todos os indivíduos foram encontrados em florestas replantadas após 1962. Já a espécie <i>Cecropia hololeuca</i> foi encontrada como indicativo florestas antigas perturbadas.
<b>Guedes et al. (2020)</b>	Vale do Rio Paraíba do Sul, São Paulo (Brasil)	Compreender a vulnerabilidade de áreas protegidas e pequenas manchas de floresta neotropical ao fogo no Vale do Rio Paraíba do Sul.	Foi encontrada uma forte correlação positiva entre a área de pastagem e probabilidade de queima, e uma correlação negativa entre probabilidade de queima e cobertura florestal, reforçando o papel das pastagens em iniciar e transmitir o fogo para bordas de floresta e pequenos fragmentos. Incêndios mais frequentes em fragmentos com menos de 100 ha. Florestas tropicais degradadas são, muitas vezes, compostas por pequenas manchas de floresta, o que aumenta a vulnerabilidade da floresta tropical às queimadas na Mata Atlântica do Sudeste.
<b>Bruel et al. (2010)</b>	Curitiba, Paraná (Brasil)	Investigar a eficiência de dois sistemas de plantio de espécies arbóreas nativas – manual e mecanizados – utilizados na restauração ecológica em paisagens que foram convertidas em pastagens na Mata Atlântica.	Ambos sistemas de plantio se mostraram eficientes para plantio de mudas de árvores nativas em pastagens.
<b>Campoe et al. (2010)</b>	Estação de Pesquisa Florestal Anhembi da Universidade de São Paulo (Brasil)	Compreender se métodos utilizados para estabelecer plantações de eucalipto de crescimento rápido também poderiam funcionar para melhorar a sobrevivência e crescimento de espécies de florestas tropicais em pastagens degradadas,	O manejo intensivo resultou em um dossel florestal quase fechado em menos de 4 anos, e oferece meios práticos para estabelecer florestas funcionais em terras agrícolas abandonadas.

		repletas por gramíneas C4.	
<b>Teixeira et al. (2009)</b>	Planalto da Ibiúna, São Paulo (Brasil)	Modelar a dinâmica de desmatamento e regeneração florestal em um fragmento de Mata Atlântica a fim de compreender as principais causas humanas de 1962 a 2000. Simular futuras mudanças na estrutura e composição da paisagem e para avaliar seus efeitos potenciais sobre conservação de espécies sob uma gama viável de manejo do uso da terra.	Cenários modelados indicaram que a aplicação das leis ambientais atuais pode ser muito eficaz no aumento da cobertura florestal e, consequentemente, na conservação das espécies.
<b>Citadini-Zanette et al. (2017)</b>	Siderópolis, Santa Catarina (Brasil)	Descrever a evolução da árvore natural <i>Mimosa scabrella</i> e o estabelecimento de outras formas de vida em uma restauração de uma área degradada pela mineração de carvão após 22 anos de implantação, enfatizando as contribuições da espécie ao processo de restauro, como facilitador para restauração de áreas.	A maioria das parcelas restauradas ainda eram cobertas apenas com plantas herbáceas associadas a poucos indivíduos arbustivos. Espécies arbóreas foram encontradas em apenas três parcelas em que foi plantado <i>M. scabrella</i> , fato que promoveu uma melhoria na carga de nutrientes do solo (N, K e matéria orgânica).
<b>Rocha-Santos &amp; Talora (2012)</b>	Reserva Ecológica Michelin em Igrapiúna, Bahia (Brasil)	Investigar os efeitos de diferentes histórias de uso de terra no processo de restauração de áreas de Mata Atlântica em uma reserva natural privada no sul da Bahia, Brasil.	Áreas de corte seletivo leve têm melhor recuperação (quantitativa e qualitativamente), tendendo a se recuperar sem intervenção. O conhecimento da influência do histórico de uso no processo de restauração das florestas pode direcionar ações de manejo, permitindo direcionar recursos onde eles são realmente necessários.
<b>Couto et al. (2016)</b>	Goiana e Timbaúba, Pernambuco (Brasil)	Comparar as propriedades microbianas do solo entre quatro diferentes tipos de uso de terra: floresta nativa, plantação de cana-de-açúcar, reflorestamento de espécies únicas e reflorestamento de espécies mistas	O uso de reflorestamento de espécies mistas pode melhorar o fornecimento de serviços ecossistêmicos já em curto prazo.
<b>Olguin et al. (2020)</b>	San Antonio, Misiones (Argentina)	Determinar a importância da aclimação e plasticidade das espécies para o estabelecimento de	<i>Cabralea canjerana</i> apresentou maior plasticidade do que <i>Araucaria angustifolia</i> .

		árvores para a restauração da floresta tropical.	
<b>Macedo et al. (2019)</b>	Búzios e Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil)	Demonstrar a viabilidade de anéis de árvores de <i>Paubrasilia echinata</i> para expressar a influência específica do clima na produção anual de xilema radial.	A precipitação sazonal é o fator mais importante, influenciando o crescimento da espécie (correlação positiva entre a cronologia dos anéis de árvores silvestres e precipitação durante os meses chuvosos da estação de crescimento).
<b>Massi et al. (2021)</b>	Santa Branca, Caçapava e Cruzeiro, São Paulo (Brasil)	Discutir a efetividade do protocolo de monitoramento estadual para restaurações ecológicas.	Os três indicadores do protocolo de monitoramento estadual (cobertura do solo com vegetação nativa, densidade e riqueza de espécies nativas) foram associados a indicadores mais qualificados em diferentes locais restaurados e podem ser considerados proxies de parâmetros ecológicos para monitorar e atestar o sucesso da restauração ecológica da floresta tropical.
<b>Gazell et al. (2012)</b>	Anhembi, São Paulo (Brasil)	Investigar se há diferença entre uma restauração florestal em um gradiente de riqueza de espécies arbóreas que varia de 20, 60 a 120 espécies usando a queda de serrapilheira como indicador.	A serrapilheira produzida pelo gradiente crescente de espécies não revelou diferença significativa, indicando que não há diferença sobre a produção de serrapilheira pela riqueza de espécies arbóreas.
<b>Rocha-Nicoleite et al. (2018)</b>	Criciúma, Santa Catarina (Brasil)	Analisar a regeneração de espécies vegetais lenhosas nos primeiros anos de restauração em áreas severamente degradada pela mineração de carvão na Mata Atlântica do sul do Brasil.	Alta variação na composição da comunidade e estrutura entre os locais restaurados. Ao longo do tempo, pôde-se observar um aumento no estabelecimento de espécies lenhosas, o que indica que as mesmas parecem estar no início de trajetórias em direções às comunidades-alvo.
<b>Alvarenga et al. (2010)</b>	Murici, Alagoas (Brasil)	Compreender a distribuição vertical da riqueza, abundância e composição das espécies epífitas de briófitas nos habitats fragmentados da Mata Atlântica.	A espécie com amplitudes ecológicas restritas, como táxons tolerantes ao sol e à sombra, foi mais negativamente afetada pela perda de habitat do que os generalistas. A riqueza média de generalistas diminuiu em fragmentos não conservados, porém a contribuição proporcional dessa guilda aumentou, provando que esses táxons são os que persistem em locais perturbados.
<b>Santos et al. (2019)</b>	Cidade Paulista, Pernambuco (Brasil)	Compreender se espécies pioneiras sucessionais e tardias possuem características fotossintéticas diferentes e se tais diferenças podem ser traduzidas em melhor desempenho quando as	A fotossíntese é diretamente dependente do nitrogênio e fósforo e notavelmente essa característica ganhou importância quando as espécies foram agrupadas em pioneiras e tardias. As respostas das árvores às variações sazonais dependem de sua capacidade de absorver nutrientes para

		plantas forem cultivadas em condições semelhantes (alta irradiância) e diferentes regimes hídricos.	atender aos requisitos minerais e, assim, sustentar o crescimento a longo prazo. As espécies pioneiras tiveram melhor desempenho do que as espécies tardias sob sazonalidade de condições flutuantes.
<b>Larcher et al. (2012)</b>	Paranaguá, Paraná (Brasil)	Compreender a resposta de 14 espécies à sombra.	Houve diferença significativa nos padrões de alocação de biomassa entre espécies sensíveis e tolerantes à sombra: as espécies tolerantes e dependentes de clareiras investem mais em fotossíntese e crescimento vertical, respectivamente.
<b>Macedo et al. (2021)</b>	Reserva Biológica do Poço das Antas, Rio de Janeiro (Brasil)	Explorar a sensibilidade das árvores tropicais ao aumento da variabilidade climática, quantificando as respostas de crescimento de sete espécies de Mata Atlântica em pontos que se diferem na precipitação anual.	As árvores estudadas parecem ter enfrentado bem os períodos de seca experimentados até o momento, sem um padrão comum de recuperação entre as espécies do mesmo local. Cada espécie responde de uma forma e necessita de um estudo individualizado.
<b>Souza et al. (2010)</b>	Rio Formoso, Pernambuco (Brasil)	Compreender as diferentes respostas ecofisiológicas entre diferentes grupos funcionais de espécies nativas da Mata Atlântica para assim, determinar as que melhor se adaptam a etapa inicial do reflorestamento.	As espécies <i>Inga sp.</i> e <i>Brosimum guianensis</i> se mostraram grupos funcionais distintos, e as espécies <i>Cinnamomum zeylancium</i> e <i>Tapirira guianensis</i> se mostraram com espécies intermediária ('grupo de preenchimento').
<b>Filho &amp; Filho (2000)</b>	Estação Biológica de Caratinga, Minas Gerais (Brasil)	Compreender se existe limitação sazonal do solo ao estado hídrico das árvores leguminosas e se as mudanças sazonais no estado da água estão relacionadas à cobertura do dossel.	As mudanças na cobertura do dossel estão mais relacionadas à seca atmosférica do que ao déficit de água no solo.
<b>Francescantonio et al. (2020)</b>	Misiones, Argentina	Investigar mecanismos de resistência à geada e à seca em 10 espécies de árvores de dossel que coexistem na Mata Atlântica presente na Argentina.	Espécies perenes e decíduas têm diferentes respostas adaptativas para lidar com a geada e a seca, em que as espécies perenes exibiram tolerância ao frio, enquanto que as espécies decíduas foram mais resistentes à seca e apresentaram maior eficiência no transporte de água.
<b>Locosselli et al. (2019)</b>	Parque Estadual Morro do Diabo, São Paulo (Brasil)	Avaliar o papel da variabilidade da precipitação e da temperatura na taxa de crescimento de duas populações de <i>Hymenaea</i>	As árvores exibem taxas médias de crescimento semelhantes ao longo da vida, sem evidência de influência de diferentes tamanhos de fragmentos. A precipitação influencia positivamente o crescimento. A temperatura tem uma

		<i>courbaril</i> nos limites sul de ocorrência.	influência mais forte do que a precipitação no crescimento dessas árvores. Logo, a temperatura é um fator chave limitante do crescimento para esta espécie em seus limites de distribuição ao sul. Períodos com temperaturas mais quentes provavelmente reduzirão a taxa de crescimento anual.
<b>Lavinsky et al. (2007)</b>	Ilhéus, Bahia (Brasil)	Analisar os efeitos da disponibilidade de luz e alagamento do solo no crescimento e características fotossintéticas de mudas de <i>Genipa americana</i> L..	Em matas ciliares degradadas e submetidas a alagamento, mudas dessa espécie devem ser plantadas em ambientes parcialmente sombreados.
<b>Araújo et al. (2014)</b>	São José dos Pinhais, Paraná (Brasil)	Estudar o uso da ecotecnologia para o manejo de áreas degradadas de Mata Atlântica.	Tecnologia foi capaz de acelerar a sucessão ecológica e promover o início da restauração ecológica.
<b>Siqueira et al. (2022)</b>	Rio Doce, Minas Gerais (Brasil)	Avaliar o potencial da espécie <i>Baccharis dracunculifolia</i> na recuperação de uma comunidade de plantas nativas de uma Mata Atlântica degradada em um curto período de tempo.	O plantio de <i>Baccharis dracunculifolia</i> teve um efeito positivo da promoção da montagem da comunidade de plantas nativas e, possivelmente, diminuiu as chances de invasão por espécies exóticas.
<b>Winbourne et al. (2018)</b>	Bahia (Brasil)	Explorar o ciclo do nitrogênio ao longo do tempo em florestas tropicais secundárias na Mata Atlântica da Bahia (Brasil) para compreender com que rapidez o ciclo de nitrogênio se recupera num fragmento em restauração.	A dinâmica do ciclo de nitrogênio foi estabelecida após apenas 20 anos de sucessão ecológica.
<b>Mengardo et al. (2012)</b>	São Paulo, São Paulo (Brasil)	Avaliar o potencial de regeneração de uma espécie invasora e uma nativa de palmeira presente em um remanescente de Mata Atlântica.	Maior capacidade de regeneração da palmeira exótica em relação à espécie nativa quando ambas co-ocorrem em um fragmento de floresta. Ações de manejo são assim propostas para reduzir um potencial processo de invasão biológica.
<b>Londe et al. (2020)</b>	Bioma da Mata Atlântica (Brasil)	Verificar se os indicadores ecológicos são influenciados pela área dos ecossistemas de referência (fragmentos maduros); verificar o tempo necessário para que a restauração atinja	Os indicadores podem ter diferentes trajetórias nas restaurações. Alguns indicadores atingiram os níveis de naturalidade semelhantes aos das referências desde o início da restauração, outros levaram até duas décadas para se estabelecer.

		valores de naturalidade que se assemelham aos ecossistemas de referência.	
--	--	---	--

## 2. Tabela revisão sistemática – Capítulo 2

<b>Referência</b>	<b>Área de estudo</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Resultados</b>
<b>Ran et al. (2022)</b>	Kunming, Qujing, Yuxi and Chuxiong-Yi - Yunnan Province (China)	Calcular o valor do serviço ecossistêmico de um fragmento urbano restaurado. Construir um Padrão de Segurança Ecológica (ESP), identificando fontes e corredores com base na teoria do circuito e Cumulativo Mínimo de Resistência (MCR). Identificar áreas cruciais de restauração ecológica territorial com base no padrão de segurança ecológica.	As áreas cruciais de restauração ecológica territorial foram compostas por 37 fontes urbanas e 62 corredores de demanda. A restauração direcionada dessas áreas cruciais pode melhorar significativamente a conectividade ecológica.
<b>Yurui et al. (2021)</b>	Shanxi, Shaanxi, Henan, Inner Mongolia, Qinghai, Gansu e Ningxia (China)	Explorar as conquistas em restauração ecológica e desenvolvimento econômico. Avaliar o estado de desenvolvimento sustentável desta região. Identificar os principais desafios que a região está enfrentando e fazer recomendações estratégicas para tornar a região mais sustentável.	A restauração urbana da cobertura vegetal melhorou significativamente de 1999 a 2018, com aumento de 66,23% da área total. Houve controle de inundação e conserva água e diminuição significativa da erosão do solo. Além disso, os principais indicadores econômicos mostraram uma significativa tendência crescente a uma taxa anual de mais de 15%.
<b>Yu et al. (2012)</b>	Shenzhen-Guangdong province (China)	Desenvolvimento de uma metodologia para planejar uma rede de conservação baseada em dados amplamente disponíveis de sensoriamento remoto e dados auxiliares.	O planejamento bem-sucedido e pragmático da restauração ecológica em uma área urbana deve considerar os requisitos do desenvolvimento social, econômico e ecologicamente sustentável e otimizar a estrutura e a função do ecossistema urbano.
<b>Yu et al. (2013)</b>	Shenzhen-Guangdong province (China)	Projetar um indicador abrangente de qualidade da água que integra múltiplos fatores de restauração urbana, selecionar o uso adequado da terra e indicadores para os aspectos de composição, configuração e contexto.	O Índice de poluição abrangente (CPI) é um bom indicador de qualidade da água para detectar o uso da terra e a qualidade da água, tal qual relacionamentos e o desempenho do modelo de regressão ponderada geograficamente (GWR) sendo superior ao modelo de mínimos quadrados ordinários (OLS). Promover a restauração

			urbana, isto é, melhorando a produtividade de vegetação é a maneira mais tangível e confiável de promover a restauração dos recursos hídricos e reorganizar a configuração dos tipos de uso do solo.
<b>Hou et al. (2023)</b>	Beijing-Tianjin-Hebei - 11 cidades (China)	Realizar a análise de redes ecológicas para priorizar os locais-chave que precisam aumentar seu nível de proteção para manter a integridade de restaurações urbanas regionais.	Há um total de 246 corredores ecológicos potenciais entre as áreas protegidas, 6 pontos de ruptura que precisam ser restaurados e 12 pontos de interseção de regiões que aprimoram a conectividade de redes.
<b>Chen et al. (2016)</b>	Chongqing (China)	Sugerir um modelo de restauração urbana que leva em consideração o Conhecimento Ecológico Local (LEK) como fonte de inspiração e soluções para o paisagismo moderno, promovendo uma integração com paisagismo e natureza.	O Conhecimento Ecológico Local (LEK) fornece soluções ecologicamente corretas e culturalmente desejáveis para a paisagem urbana. Esse conhecimento evolui com ambientes que estão e constantes mudanças e novas relações homem-natureza.
<b>Johnson &amp; Handel (2019)</b>	Nova Iorque (Estados Unidos)	Analisar a estrutura da vegetação e a composição da comunidade em 3 grandes parques urbanos da cidade de Nova Iorque para testar o impacto da intensidade do manejo no sucesso a longo prazo da restauração ecológica em fragmentos florestais urbanos.	Fragmentos restaurados com maior manutenção se mostram com um maior equilíbrio ecológico, mostrando a importância do gerenciamento contínuo de áreas restauradas, levando em consideração as mudanças constantes e rápidas que ocorrem nas cidades
<b>Schröder &amp; Kiehl (2020)</b>	Osnabrück (Alemanha)	Desenvolver e testar diferentes medidas para a restauração ecológica de um fragmento urbano a fim de aumentar a riqueza de espécies de plantas nativas semeando duas espécies de herbáceas sem afetar, espontaneamente,	A introdução de duas espécies de herbáceas foi bem sucedida levou uma rápida revegetação do antigo fragmento. Alto valor de conservação da natureza do fragmento urbano.

		espécies vegetais colonizadoras de valor de conservação da natureza.	
<b>Busbridge et al. (2021)</b>	Nova Zelândia (estudo de revisão)	Compreender os motivadores por trás do planejamento, implementação e gestão de projetos de restauração urbana. Identificar elos fracos na transferência de conhecimento entre restauração, pesquisa ecológica e prática da restauração. Sugerir métodos direcionados para fortalecer a transferência de informações entre pesquisadores e profissionais.	Existência entre um vínculo tênue entre a ciência atual e conhecimento sobre as melhores práticas de restauração e ações do profissional. Os pesquisadores tender a ter objetivos amplos e vagos e se concentram na restauração de ecossistemas simples, com espécies de plantas sucessionais precoces. Priorizar modos interativos e interpessoais de comunicação científica, ajudando a fortalecer a transferência de conhecimento.
<b>Hong et al. (2022)</b>	Jiaozuo (China)	Propor uma estratégia verde e diversificada para planejamento sustentável para restauração urbana a fim de atender as necessidades dos cidadãos para a experiência natural do ecossistema.	A estratégia foi eficiente pois leva em consideração as mudanças que estão ocorrendo nos fatores ambientais para formular adequadamente o esquema de restauração ecológica.
<b>O'Meara &amp; Darcovich (2015)</b>	Sydney (Austrália)	Monitorar os 12 anos de restauração de um parque urbano.	Valores originais da biodiversidade foram mantidos e em muitos casos, aumentou. As restaurações precisam de um programa de monitoramento robusto, que forneça informações sobre tendências de longo prazo e identifica grandes mudanças temporais e espaciais.
<b>Clarkson &amp; Kirby (2016)</b>	Hamilton (Nova Zelândia)	Revisar o histórico e o estado atual da ecologia de restauração em fragmentos urbanos em um país com uma das mais antigas tradições de restauração no mundo.	Cada núcleo urbano e sua zona periférica requer uma combinação diferente de restauração e reconstrução. A restauração urbana é firmemente estabelecida como uma forma de reconectar os moradores com a natureza, alcançando objetivos sociais e ecológicos.
<b>Watkins et al.</b>	Chicago (Estados Unidos)	Investigar como fatores estruturais e	Reuniões formais e líderes de grupo são

<b>(2013)</b>		comportamentais podem influenciar a tomada de decisão coletiva no contexto da restauração ecológica, com o objetivo de estabelecer relações gerais entre estilos de gestão a fim de produzir um modelo estilizado baseado em mapeamento e simulação dos processos de restauração.	importantes facilitadores de convergência. Modelo de processos coletivos de tomada de decisão no contexto da restauração ecológica.
<b>Zhai &amp; Huang (2022)</b>	Shandong Península (China)	Analisar padrão espacial morfológico (MSPA) e avaliar a qualidade do habitat com base no risco do habitat (ARA).	Fontes ecológicas distribuídas em um espaço padrão de cinco grupos, e os corredores ecológicos eram curtos e densos. Corredores que conectam partes internas e externas da cidade central. Redes ecológicas (ENs) como uma solução viável para alcançar proteção e restauração ecológica efetiva.
<b>Wallace et al. (2022)</b>	Aotearoa (Nova Zelândia)	Apresentar resultados de um projeto de restauração de floresta tropical temperada urbana.	A restauração dos ecossistemas de florestas urbanas plantadas requer monitoramento contínuo para medir o progresso. Dessa forma, é possível manejar as florestas em desenvolvimento rumo a um ecossistema funcional e autossustentável.
<b>Bonilla-Rodriguez et al. (2021)</b>	Cidade do México (México)	Avaliar a viabilidade de restaurar a vegetação em uma parte de um campus universitário.	Criação do Índice de Necessidade e Viabilidade de Restauo (NFRI) por meio da análise multicriteriosa considerando aspectos ecológicos, econômicos e indicadores sociais.
<b>Liu et al. (2021)</b>	Wuhan (China)	Estimar as mudanças espaciais e temporais da dinâmica do carbono frente a mudanças no uso de terras e mudanças climáticas.	O efeito positivo do sequestro de carbono do reflorestamento foi quase igual ao efeito negativo da urbanização entre 2000 e 2015. Possibilidade da rápida urbanização e restauração ecológica serem realizadas simultaneamente.
<b>Cao et al. (2022)</b>	Hefei (China)	Propor uma estrutura para avaliar os efeitos esperados da restauração ecológica	De 2020 a 2030 as mudanças do uso de terra ocorreriam, em maioria, na principal área urbana da

		com base na mudança do uso de terra e na segurança ecológica padrão.	cidade. A terra arável seria convertida para terrenos de construção e bosques. Haveria um aumento das fontes ecológicas. A qualidade do ecossistema, a integridade ecológica e a conectividade da paisagem seriam melhoradas.
<b>LV et al. (2022)</b>	Chongqing (China)	Aliar a construção de padrões de segurança ecológica com a teoria do circuito para identificar pontos-chave ecológicos para, assim, determinar sua localização, escala e tipo. Propor estratégias direcionadas de restauração ecológica em que sua aplicação possa fornecer suporte teórico e referência prática para futuras restaurações.	Existem 43 fontes ecológicas na área urbana central de Chongqing e uma série de 86 corredores ecológicos, principalmente ao leste.
<b>Sun et al. (2021)</b>	Nanjing, Suzhou, Wuxi, Changzhou e Zhenjiang (China)	Identificar locais-chave (MSPA) para fornecer um método econômico de restauração e desenvolvimento para uma rede ecológica em aglomeração urbana.	Foram extraídos um total de 60 fontes ecológicas. Os recursos ecológicos da área de estudo foram densamente distribuídos no norte e sul. As fontes ecológicas dificilmente estavam incluídas nas políticas de proteção ecológica existentes.
<b>Huang et al. (2021)</b>	Shanghai (China)	Desenvolver um sistema de índice abrangente com ampla aplicabilidade para analisar quantitativamente a estrutura da área da paisagem regional. Revelar tendências na qualidade da paisagem ao longo de uma longa série temporal e explorar a relação entre cobertura do solo e qualidade da paisagem. Identificar as áreas mais degradadas de qualidade paisagística e classificar os tipos de restauração ecológica em diferentes níveis de degradação.	Na área metropolitana, a qualidade da paisagem apresentou uma maior tendência de degradação, com áreas construídas invadindo florestas e terras agrícolas. A degradação ecológica nos subúrbios foi mais grave do que no centro urbano.

<b>Wang et al. (2022)</b>	Fujian (China)	Identificar áreas de origem ecológica, avaliando a importância da função de serviço ecológico e sensibilidade ecológica nos corredores ecológicos contruídos.	As principais áreas de espaço verde nos espaços ecológicos na província foram avaliadas como áreas prioritárias para restauração ecológica.
<b>Hu et al. (2022)</b>	Shangcheng, Xihu, Gongshu, Binjiang, Yuhang, Xiaoshan, Linping e Qiantang (China)	Identificar as paisagens degradadas em fragmentos urbanos e coordenar as necessidades socioecológicas a fim de determinar a restauração.	As composições da paisagem mudaram significativamente. Houve diferenças nas características de evolução do padrão de paisagem.
<b>González-Molina et al. (2022)</b>	Zurich (Suíça) (revisão)	Analisar o papel dos serviços ecossistêmicos culturais associados à restauração ecológica participativa, avaliando as percepções e representações sociais das partes interessadas no processo.	Os serviços ecossistêmicos culturais desempenharam um papel fundamental no processo participativo de restauração ecológica. Reforço da ligação entre a recuperação do patrimônio biofísico com aspectos culturais na geração do contexto social.
<b>Pavao-Zuckerman (2008)</b>	Tucson (Estados Unidos) (revisão)	Destacar os diversos impactos das cidades nos solos e suas implicações para a restauração.	A urbanização altera os solos de forma dramática, sendo necessária a prática de restauradores urbanos. Além disso, a urbanização pode mascarar as influências do pré-desenvolvimento de atividades em solos e determinar, assim, qual restauração pode ser mais efetiva.
<b>Schaefer (2009)</b>	Victoria (Canadá) (revisão)	Analisar a importância da memória ecológica para restauração.	A perda da memória ecológica facilita o estabelecimento de espécies invasoras que, por sua vez, podem criar um novo domínio de estabilidade com seu grau de resiliência.
<b>Sinclair &amp; Hobbs (2009)</b>	Perth (Austrália)	Examinar os efeitos do tamanho da amostra de uma espécie de interesse nas áreas de restauração urbana a fim de testar e, se necessário, melhorar as estratégias de amostragem para estimar parâmetros para identificar as	O tamanho mínimo de amostra é de 30 para fazer coleção de sementes ou estoque verde para restauração. A população restaurada deve conter níveis semelhantes da diversidade genética para a população de origem.

		populações fontes para restauração.	
<b>Schaefer (2011)</b>	Victoria (Canadá) (revisão)	Analisar a importância da memória ecológica e espécies invasoras para restauração.	A memória ecológica é especialmente importante em ecossistemas urbanos. A restauração urbana requer a remoção do legado ecológico de espécies exóticas invasoras.
<b>Takeuchi et al. (2017)</b>	Kesenuma (Japão)	Identificar pontos-chave para a restauração urbana de ambientes atingidos por catástrofes.	A construção da resiliência na área afetada exige uma transformação das paisagens, fortalecendo a relação entre moradores locais com a mesma. Existe a necessidade de tomadores de decisão em adotar uma abordagem holística baseada na sustentabilidade explicada pela ciência a fim de entender as inter-relações entre as paisagens e ecossistemas para desenvolver uma reconstrução robusta.
<b>Standish et al. (2013)</b>	Crawley (Austrália) (revisão)	Discutir maneiras pelas quais existem restrições ambientais em restaurações ecológicas e como as mesmas podem ser vistas como oportunidades.	A restauração ecológica pode contribuir para o sustentabilidade das paisagens urbanas, não só em termos de conservação da natureza, mas também proporcionando oportunidades para as pessoas interagirem com a natureza e assim aumentar nossa compreensão de como as pessoas percebem e valorizam as paisagens.
<b>Yang et al. (2019)</b>	Beijing, Tianjin e Hebei (China)	Avaliar as políticas de uso de terra. Examinar as mudanças na disposição da vegetação e na interação com o meio (sequestro de carbono, retenção do solo).	A área urbanizada aumentou 22% de 2000 a 2010, mas as áreas florestais e de pastagens também aumentaram 3,6% e 1,7%, principalmente, graças à restaurações. O aumento da qualidade e quantidade de habitats naturais em áreas montanhosas melhoraram o armazenamento de carbono e a retenção de areia em escala regional. Isso indica que restauração ecológica pode compensar as perdas significativas em áreas urbanas.
<b>Wang et al.</b>	Seattle (Estados Unidos)	Analisar a estrutura institucional	A visão das florestas urbanas como provedoras de

<b>(2021)</b>		que sustenta os esforços em Seattle (Washington) para normalizar a produção e uso de paisagens comestíveis nas cidades.	bens e serviços pode fornecer uma base mais sólida para alcançar a sustentabilidade urbana do que a atual abordagem “mãos livres” para o manejo florestal urbano, oferecendo oportunidades para os habitantes administrarem os recursos naturais públicos e interagir profundamente com a natureza.
<b>Lin et al. (2022)</b>	Taiwan (China)	Compreender as características de composição do solo da floresta urbana e a influência dos bancos de sementes na restauração. Analisar a viabilidade de aplicar banco de sementes para restauração ecológica como referência para futuras ações dessa área urbana.	O banco de sementes do solo da região é composto principalmente por plantas herbáceas. As mesmas plantas podem não funcionar para futuras restaurações pelas previsões de mudanças climáticas. Recomenda-se usar, em solos vizinhos, espécies nativas e locais.
<b>McLain et al. (2012)</b>	Seattle (Estados Unidos)	Analisar pontos positivos da produção e uso de paisagens comestíveis nas cidades.	Restaurações ecológicas voltadas para paisagens comestíveis possibilita que o público interaja com a natureza de forma mais íntima, tal qual possibilita a administração de recursos naturais públicos.

### 3. Checklist PRISMA – Capítulo 1



#### PRISMA 2020 Checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
<b>TITLE</b>			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	23
<b>ABSTRACT</b>			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	23
<b>INTRODUCTION</b>			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	26
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	27
<b>METHODS</b>			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	27
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	27
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	27
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	27
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	27
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	27
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	N/A
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	N/A
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	28
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #6)).	28
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	28
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	28
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	28
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	N/A
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	N/A
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	N/A
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	N/A



#### PRISMA 2020 Checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
<b>RESULTS</b>			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	28
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	27-28
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	29
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	N/A
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	29-31
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	N/A
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	29-31
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	29-31
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	N/A
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	N/A
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	N/A
<b>DISCUSSION</b>			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	33-35
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	33
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	N/A
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	33-35
<b>OTHER INFORMATION</b>			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	N/A
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	N/A
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	28
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	N/A
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	N/A
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	N/A

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71  
For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org/>

## 4. Checklist PRISMA – Capítulo 2



### PRISMA 2020 Checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
<b>TITLE</b>			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	42
<b>ABSTRACT</b>			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	42
<b>INTRODUCTION</b>			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	46
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	46
<b>METHODS</b>			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	47
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	47
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	47
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	47
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	47
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	48-49
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	N/A
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	N/A
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	N/A
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	N/A
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	48-49
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	N/A
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	48-49
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	N/A
Reporting bias assessment	14	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	N/A
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results (arising from reporting biases).	N/A
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	N/A



### PRISMA 2020 Checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
<b>RESULTS</b>			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	48
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	47
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	47
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	N/A
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	50-51 61-64
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	N/A
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	N/A
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	49-51
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	N/A
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	N/A
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	N/A
<b>DISCUSSION</b>			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	52-65
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	N/A
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	N/A
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	66-67
<b>OTHER INFORMATION</b>			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	N/A
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	N/A
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	N/A
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	N/A
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	N/A
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	N/A

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71  
For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org/>