

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta dissertação
será disponibilizado somente a partir
de 30/07/2027.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E
BIODIVERSIDADE**

**TERMOTOLERÂNCIA A BAIXAS TEMPERATURAS EM ESPÉCIES NATIVAS E
EXÓTICAS UTILIZADAS EM ÁREA DE FLORESTA RESTAURADA**

DANIELA OFÉLIA ANTONIOLI

**Rio Claro – SP
2025**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E
BIODIVERSIDADE**

**TERMOTOLERÂNCIA A BAIXAS TEMPERATURAS EM ESPÉCIES NATIVAS E
EXÓTICAS UTILIZADAS EM ÁREA DE FLORESTA RESTAURADA**

DANIELA OFÉLIA ANTONIOLI

Dissertação apresentada ao Instituto de Biotecnologia do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia, Evolução e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Davi Rodrigo Rossatto

**Rio Claro – SP
2025**

A635t

Antonioli, Daniela Ofélia

Termotolerância a baixas temperaturas em espécies nativas e exóticas utilizadas em área de floresta restaurada / Daniela Ofélia

Antonioli. -- Rio Claro, 2025

67 p. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientador: Davi Rodrigo Rossatto

1. Geadas. 2. Mudanças Climáticas. 3. Restauração. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Termotolerância a baixas temperaturas em espécies nativas e exóticas utilizadas em área de floresta restaurada

AUTORA: DANIELA OFÉLIA ANTONIOLI

ORIENTADOR: DAVI RODRIGO ROSSATTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ecologia, Evolução e Biodiversidade, área: Biodiversidade pela Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente

DAVI RODRIGO ROSSATTO

Data: 01/08/2025 14:17:16-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. DAVI RODRIGO ROSSATTO (Participação Virtual)
Departamento de Biologia / UNESP FCAV Jaboticabal



Documento assinado digitalmente

MARINA CORREA SCALON

Data: 30/07/2025 17:31:53-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. MARINA CORREA SCALON (Participação Virtual)
Ensino, Ecologia e Conservação / Pós-doutoranda da Universidade Federal do Paraná



Documento assinado digitalmente

LUA TAIBO TIMPONE

Data: 30/07/2025 16:54:59-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. LUÁ TAIBO TIMPONE (Participação Virtual)
IB Rio Claro / Pós-doutoranda da Unesp

Rio Claro, 30 de julho de 2025

Dedicatória

Dedico a minha Avó Elisabeth Bataglia.

*A sua fortuna está nas pessoas que você ama
e nas memórias que você cria.*

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento e conclusão deste trabalho contou com o apoio e ajuda de muitas pessoas especiais, agradeço:

Primeiramente à Deus pela minha vida.

À minha avó Elisabeth e a minha mãe Viviane que são a minha vida e minha base. Obrigada por todo apoio e por sempre acreditarem em mim. Vocês me ensinaram os maiores valores da vida! É uma dádiva ser neta e filha de vocês. Vocês são minhas maiores inspirações e o que me move. Sempre será tudo por vocês! Tudo aquilo que sou, ou pretendo ser, devo a vocês. Obrigada por tudo.

Aos meus irmãos Lucas e Davi, meu padrasto Leopoldo, meu pai Cláudio, minhas cunhadas e irmãs Nathália e Dani, e ao meu príncipe Anthony, obrigada por caminharem do meu lado e sempre prestarem apoio e torcerem por mim. Vocês são minha base e sou extremamente grata por partilhar a vida ao lado de vocês.

Ao meu orientador Prof. Dr. Davi Rossatto, obrigada por acreditar em mim e por sempre estender a mão e me ajudar em todas as etapas desse processo. Sou imensamente grata por todos os seus ensinamentos e por conter um professor como você ao meu lado. Você é um exemplo e uma grande inspiração.

Às professoras Alessandra Fidelis e Marina Scalon por acompanhar todo o processo desde o início do projeto e por todas as contribuições para a realização deste trabalho.

À minha família de Jaboticabal, república Santa Casa. Desde 2018, no início da graduação me acolheram. Vocês foram minha base durante todo esse processo, obrigada por cada momento. Sou grata por aprender tanto com cada uma de vocês. Agradeço o apoio e por sempre permanecerem ao meu lado. Levarei vocês para sempre onde quer que eu esteja. Obrigada por tudo!

À Cristiane, Daniel, Kamila, Taíne e Vinicius pelo incentivo e por estarem sempre ao meu lado. Nos momentos difíceis foram vocês que me reergueram. Sou eternamente grata por tudo que fizeram e fazem! Muito obrigada!

Aos companheiros de laboratório, Bianca (Tutu), Guilherme, Milena e Natália; obrigada por toda a ajuda durante esse processo. Sem vocês não teria conseguido. Obrigada pelos conselhos, pela ajuda nas coletas, por sempre torcerem e estarem do meu lado, vocês são parte fundamental dessa conquista.

Aos companheiros e colegas da turma “Embaúba”! Obrigada por todos esses anos de companheirismo, sou muito grata pela amizade de vocês!

Aos meus amigos, Carol, Erick, Luciana, Marcela, Maria Júlia e Nicollas, por sempre me incentivarem e por estarem comigo desde nosso ensino médio. A vida é melhor ao lado de vocês.

Às minhas amigas irmãs, Ester e Roberta, obrigada pelo apoio, obrigada pelo companheirismo e por sempre torcerem por mim.

À Giovanna e Pedro, obrigada por todo acolhimento e por todo o carinho. Obrigada por estenderem a mão para me ajudar em todas as idas para Rio Claro.

À minha professora de inglês Natália; obrigada por toda a ajuda e por sempre confiar em mim. Além de uma admirável professora, você é uma amiga. Obrigada por tudo.

À Márcia Macri, Prof. Eduardo Gasparino, Aldo e Lucinda, obrigada por todas as conversas, pelo apoio e por sempre me incentivarem. Vocês são parte de toda essa conquista.

Ao programa de Pós-Graduação em Ecologia, Evolução e Biodiversidade por todo o suporte prestado.

Agradeço a CAPES pelo fomento desta dissertação.

Seguindo para a conclusão desse trabalho, me sinto grata por todas as etapas vividas e do amadurecimento profissional e pessoal que desenvolvi durante todo esse processo. Apesar dos grandes desafios ao longo do caminho, a concretização desse trabalho é a realização de um sonho! Sou eternamente grata a cada um que fez parte disso e cruzou meu caminho durante esse processo. Essa conquista não seria possível sem vocês. Muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

"O amor é a força mais poderosa do universo." – Chico Xavier

Resumo

Os ecossistemas naturais podem estar sujeitos a fenômenos extremos de temperatura devido as mudanças climáticas. Dentre estes fenômenos estão os eventos de frio, podendo ocorrer fenômenos de geadas, que podem afetar diretamente a sobrevivência das espécies vegetais. Diante do exposto, o presente trabalho possui como objetivo analisar os atributos foliares e dos ramos relacionados a proteção ao frio e a termotolerância das folhas a baixas temperaturas em espécies nativas e exóticas utilizadas em áreas de reflorestamento. Espera-se que espécies exóticas utilizadas nesses plantios não sejam tolerantes ao frio e não apresentem atributos para lidar com este fenômeno, tendo em vista sua origem em ambientes tropicais. Foram analisados atributos morfológicos dos ramos e folhas e realizados testes de exposição a baixas temperaturas para avaliação do funcionamento do fotossistema II, indicador de dano causado por estresse como baixas temperaturas. Os resultados encontrados corroboraram parcialmente as hipóteses previstas, pois as espécies nativas e exóticas se diferenciaram em alguns atributos, como no grau de proteção das gemas, além de apresentarem divergências quanto a espessura da casca e no conteúdo relativo de água. Para a termotolerância, foi encontrado que tanto espécies nativas como espécies exóticas tiveram danos substanciais em seus fotossistemas quando exposto apenas a temperatura de -5°C . No entanto, a maioria das espécies nativas mantiveram seu aparato fotossintético estável, enquanto metade das exóticas apresentaram danos substanciais. Assim, conclui-se que existem diferenças morfológicas para alguns atributos e que há diferenças na termotolerância quando expostas a -5°C entre as espécies nativas e exóticas. Esses resultados reforçam a importância de considerar as características ecológicas e fisiológicas individuais de cada espécie, independentemente de sua origem para projetos de restauração ecológica em áreas sujeitas a frio extremo.

Palavras chaves: geadas, mudanças climáticas, restauração.

Abstract

Natural ecosystems may be subject to extreme temperature phenomena due to climate change, including cold spells, which can lead to frosts that directly affect the survival of plant species. In view of the above, the present study aims to analyze the leaf and branch attributes related to cold protection and the thermotolerance of leaves at low temperatures in native and exotic species used in reforestation areas. It is expected that exotic species used in these plantations are not cold tolerant and do not have attributes to deal with this phenomenon, given their origin in tropical environments. Morphological attributes of branches and leaves were analyzed, and low-temperature exposure tests were performed to evaluate the functioning of photosystem II, an indicator of damage caused by stress such as low temperatures. The results partially corroborated the predicted hypotheses, as native and exotic species differed in some attributes, such as the degree of bud protection, and differed in bark thickness and relative water content. For heat tolerance, it was found that both native and exotic species had substantial damage to their photosystems when exposed to a temperature of only -5°C . However, most native species maintained their photosynthetic apparatus stable, while half of the exotic species showed substantial damage. Thus, it is concluded that there are morphological differences for some attributes and that there are differences in thermotolerance when exposed to -5°C between native and exotic species. These results reinforce the importance of considering the individual ecological and physiological characteristics of each species, regardless of its origin, for ecological restoration projects in areas subject to extreme cold. Keywords: frost, climate change, restoration.

Keywords: frost, climate change, restoration

Sumário

1. Introdução geral	12
2. Objetivos gerais	19
3. Hipóteses	19
4. Referências bibliográficas	20
CAPÍTULO I	26
1. Introdução	28
2. Material e métodos	32
2.1. Área de estudo	32
2.2 Escolha de espécies	33
2.2 Atributos morfológicos dos ramos: grau proteção de gemas, espessura, densidade da casca e conteúdo relativo de água	35
2.3 Atributos morfológicos das folhas: forma foliar, área foliar específica e conteúdo relativo de água	37
2.4. Ensaio de tolerância foliar às baixas temperaturas	38
2.5. Análises estatísticas	39
3. Resultados	39
3.1 Características morfológicas das espécies	39
3.1.1. Análise da posição das gemas	39
3.1.2. Características morfológicas dos ramos	41
3.1.3. Características morfológicas foliares	43
3.2. Termotolerância foliar a baixas temperaturas	45
3.3. Análise de componentes principais	48
4. Discussão	49
5. Conclusão geral	56
6. Referências bibliográficas	57
7. Material suplementar	65

1. Introdução geral

Mudanças climáticas globais

Os ecossistemas terrestres são influenciados por uma série de fatores climáticos, como a temperatura, umidade, precipitação e fatores como disponibilidade de água e nutrientes no solo; sendo que alterações nessas condições acarretam efeitos significativos na estrutura e funcionamento dos mesmos. Essas modificações não só afetam a persistência e distribuição das espécies, mas também os ciclos de nutrientes e a captação e o armazenamento de energia (Diffenbaugh e Field 2013; Assibey e Cobbinah 2023). Nas últimas décadas, alterações significativas em fatores climáticos têm sido intensificadas através dos efeitos das atividades humanas pelo aquecimento global, fenômeno impulsionado principalmente pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera — como dióxido de carbono, metano e óxidos de nitrogênio — em grande parte devido a atividades antrópicas como o desmatamento, a agricultura, a atividade industrial e a poluição (Prăvălie 2018; Kweku et al. 2018).

O principal efeito climático são as alterações nas temperaturas terrestres, e o Painel de Mudanças Climáticas (IPCC) desempenha um papel crucial na compreensão desse fenômeno e seus impactos na biosfera terrestre. O IPCC, como principal órgão internacional de avaliação das mudanças climáticas, fornece informações científicas essenciais para o desenvolvimento de políticas climáticas. Através de seus relatórios é possível observar os efeitos evidentes do aquecimento global causado pelas atividades humanas e seus impactos generalizados nos ecossistemas do planeta (IPCC 2019). Dentre as consequências destaca-se um aumento na temperatura média global da superfície entre 2011 e 2020 de aproximadamente 1,1 °C, superior aos níveis pré-industriais (1850–1900). Além disso, o relatório projeta um aumento na temperatura média global atingindo ou ultrapassando 1,5 °C nas próximas décadas (até 2050) o que está ocasionando diversas consequências para o funcionamento dos ecossistemas

e até mesmo interferindo em processos fisiológicos das espécies, além de provocar a perda de habitats naturais e o desaparecimento de ecossistemas naturais (IPCC 2023).

Tais mudanças têm provocado alterações significativas nos padrões climáticos globais, incluindo o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos, como tempestades severas, secas prolongadas, chuvas intensas, ondas de calor e, até mesmo, episódios de frio intenso, com a ocorrências das baixas temperaturas (menores que 0°C), em regiões temperadas, subtropicais e tropicais (Klein et al. 2014; IPCC 2019; Guan et al. 2022). Esses eventos podem representar uma ameaça significativa à biodiversidade, especialmente em regiões tropicais, onde muitas espécies não são adaptadas para tolerar temperaturas mais baixas (Curran et al. 2010). Considerando que a temperatura é um dos principais fatores que influenciam o estabelecimento e desenvolvimento das espécies vegetais (Turchetto et al. 2020), esse fenômeno meteorológico pode promover efeitos ecológicos significativos que limitam a produtividade e especialmente o funcionamento e a distribuição geográfica das plantas (Inouye 2000; Duker et al. 2015), além de apresentar danos celulares geralmente considerados semelhantes aos danos causados pela seca (Charrier et al. 2015; Russel e Teder 2020).

As baixas temperaturas podem levar ao resfriamento e congelamento dos tecidos das plantas (Sakai e Larcher 1987) afetando diretamente a sobrevivência das estruturas foliares e dos ramos das espécies vegetais, produzindo mortalidade da parte aérea e influenciando a produtividade e estruturação dos ecossistemas (Hoffmann et al. 2019; Pilon et al. 2022; Antonio et al. 2023). Como consequências desse fenômeno, o resfriamento pode causar injúrias e estresse na planta, sem a ocorrência própria do congelamento (Sakai e Larcher 1987; Beck e Hansen 2004). Por outro lado, os danos acometidos pelo resfriamento afetam de forma muito importante áreas tropicais ou sub-tropicais, pois trata-se de lugares onde as espécies vegetais são sensíveis a temperaturas de resfriamento e principalmente as de abaixo do ponto

do congelamento (Sakai e Larcher 1987). Em contraste, o congelamento leva a solidificação de água e formação de gelo, formando cristais dentro ou entre as células que levam a danos celulares irreversíveis, como a desidratação e morte celular pela quebra das membranas de organelas celulares importantes como o cloroplasto e a mitocôndria (Sakai e Larcher 1987; Beck et al. 2004). O estresse causado por esses fenômenos pode ocasionar a perda da viscosidade de membrana; retardo no metabolismo; atraso na dissipação de energia, levando a formação de radicais e estresse oxidativo, encolhimento do volume do protoplasto após a formação de gelo extracelular e turgor negativo (Beck et al. 2004), levando a morte celular e dos tecidos (Burke et al. 1976; Pearce 2001).

Ecossistemas florestais e a influência das geadas nos processos de restauração

Dentre os ecossistemas terrestres sujeitos aos fenômenos de frio extremo no território brasileiro, estão as áreas de savanas e de florestas tropicais que ocorrem em seus limites de distribuição sul (20 a 23°S), ocorrendo próximos ou mesmo crescendo sob a região subtropical (Hoffmann et al. 2019; Pilon et al. 2022; Antonio et al. 2023). Quando se considera as formações florestais dominantes na região Sul e Sudeste do Brasil, a floresta estacional semidecidual (associada ao bioma Mata Atlântica) são formações mais propícias a se sujeitarem a esse fenômeno, dado a sua distribuição em mosaico nas regiões centro oeste e ao sul dos estados de São Paulo e norte do Paraná (Pilon et al. 2022). Estudos realizados em áreas de limite sul de distribuição destas florestas, demonstraram que a capacidade de tolerância de suas espécies vegetais ao frio varia conforme o tipo de formação, sendo que a maioria das espécies florestais tendem a apresentar maior tolerância ao frio do que as espécies típicas de savanas (Hoffman et al. 2019), exceto quando em estágio de plântulas, quando estão mais suscetíveis a este evento (Araujo et al. 2021). Contudo, na maioria das espécies tropicais,

suas folhas e caules são danificados ou mortos em temperatura de -4°C a -1°C (Sakai e Larcher 1987).

Especificamente, a Floresta estacional Semidecidual é fortemente sujeita a fenômenos de resfriamento e até mesmo congelamento, pois está localizada em uma região que apresenta uma estação caracterizada por clima frio e seco característico entre maio e agosto onde a água está presente em baixas quantidades (pluviosidade $< 50\text{ mm}$), com temperaturas mínimas que podem chegar $0-5^{\circ}\text{C}$, dependendo da entrada e passagem de frentes frias vindo da região polar e da altitude em que se encontram (Hoffmann et al. 2019), e outra época quente, onde as chuvas são extremamente abundantes e as temperaturas do ar podem atingir entre $30-35^{\circ}\text{C}$ (Durigan et al. 2000). Estas florestas são caracterizadas por um estrato arbóreo dominante, formando um dossel contínuo, com árvores emergentes e de sub-bosque, além de conter a presença de árvores de grande porte das quais perdem 20 – 50% da sua copa durante a estação seca (Veloso et al. 1991; Oliveira-Filho e Fontes 2000; Campanili e Prochnow 2006). Algumas das espécies encontradas nessas florestas são decíduas ou semidecíduas durante a estação seca, devido à baixa disponibilidade hídrica no solo (Campanili e Prochnow 2006), no entanto, são encontradas também nesse tipo de vegetação espécies perenifólias.

Ao longo da paisagem do interior do estado de São Paulo, entre os mais diversos tipos de fragmentos florestais, podemos encontrar áreas de preservação permanente (APP) (Haddad et al. 2015), que são formações florestais restauradas a partir do plantio de espécies nativas e exóticas (Assis et al. 2013; Valduga et al. 2016). As APPs, ocorrem ao longo de vales, regiões sujeitas a menores temperaturas que seu entorno, e sua vegetação se localiza próxima às nascentes ou corpos d'água de primeira ordem (Haddad et al. 2015). Essas áreas consistem em espaços territoriais legalmente protegidos, ambientalmente frágeis e vulneráveis, podendo ser públicas ou privadas, urbanas ou rurais, cobertas ou não por vegetação nativa (Brasil 2012). Tais vegetações são protegidas pelo código florestal, que tem como objetivo preservar

a paisagem e sua biodiversidade, além de proteger o solo e seus recursos hídricos (Haddad et al. 2015). Essas áreas normalmente são restauradas através do plantio de espécies nativas, de espécies exóticas da região e do país e por condução de regeneração natural de espécies já presentes nas áreas (Brasil 2012; Barbosa et al. 2017), no entanto, normalmente são utilizadas espécies exóticas, o que pode alterar drasticamente sua composição, seu processo sucessional e seu funcionamento (Di Sacco et al., 2021).

Quando espécies exóticas são utilizadas em projetos de reflorestamento, seu rápido crescimento pode favorecer o aumento da cobertura vegetal (Valduga et al. 2016). No entanto, essas espécies nem sempre apresentam características morfológicas e fisiológicas adequadas para garantir a persistência e a manutenção da dinâmica da floresta recém-regenerada (Valduga et al. 2016; Di Sacco et al. 2021), uma vez que se encontram em climas bem distintos daqueles de sua origem. Essa limitação torna-se difícil especialmente quando consideramos eventos ambientais extremos como épocas de picos de temperatura e presença de geadas, que podem afetar a persistência e sobrevivência de plantas oriundas de regiões tropicais muito quentes (Curran et al. 2010). A baixa temperatura é considerada um fator limitante em locais tropicais de alta altitude e em regiões subtropicais, onde observa-se uma restrição ambiental importante para o crescimento e estabelecimento das espécies florestais em áreas de restauração (Rorato et al. 2018; Turchetto et al. 2020; Araujo et al. 2021).

Estudos de Hoffmann e colaboradores (2019) mostraram que espécies de ambientes savânicos são menos tolerantes ao frio do que espécies de ambientes florestais. Rorato et al. (2018) demonstraram que algumas espécies florestais de Mata Atlântica sofrem muitos danos quando expostas a baixas temperaturas, mas que outras podem ser bem resistentes. Além disso, sabe-se que a maioria das plantas tropicais são vulneráveis a temperaturas abaixo de zero (Sakai e Larcher 1987). Portanto, é provável que as espécies de florestas estacionais, ao longo do tempo, tenham sido mais expostas a geadas, sendo fruto de seleção para

características morfofisiológicas que as ajudam a lidar melhor com o frio, em comparação com espécies de ambiente tropical (Di FrancescoAntonio et al. 2020). Em contrapartida, muitas das espécies exóticas utilizadas em plantios de restauração de áreas de proteção permanente têm origem em regiões tropicais, onde o frio intenso é raro, o que pode acarretar uma menor tolerância a baixas temperaturas (Hoffmann et al. 2019). Assim, o frio pode atuar como um filtro, dificultando a presença e a manutenção de espécies arbóreas exóticas em fragmentos de floresta (Araujo et al. 2021).

Um dos principais objetivos das práticas de restauração de ecossistemas degradados retrata o retorno das comunidades naturais de plantas modificadas para um estado mínimo funcional próximo do que seria antes da interferência humana (Curran et al. 2010). No entanto, através das mudanças climáticas globais, devastação e uso das terras, esse objetivo pode se tornar cada vez mais difícil (Hobbs 2007). Assim, atualmente, tem-se um objetivo utilizado na ecologia de restauração do qual se trata de construir comunidades ecológicas resistentes a perturbações futuras (Choi 2004; Hobbs e Kramer 2008; Rorato et al. 2018), dessa forma se faz extremamente necessário entender como as espécies vegetais estão reagindo a diferentes perturbações, pois o uso de espécies sensíveis a essas perturbações poderia afetar drasticamente o sucesso da restauração (Rorato et al. 2018).

A Mata Atlântica é um dos biomas que abrigam maior riqueza de espécies possuindo características geográficas e grande amplitude altitudinal que favorecem sua alta diversidade e endemismo, no entanto é o bioma que mais sofre com perda florestal (Ribeiro et al. 2009). A maior parte da Mata Atlântica se concentra atualmente em pequenos fragmentos florestais que são isolados uns dos outros e se compõem por florestas secundárias com estágios iniciais de sucessão (Ranta et al. 1998). Devido à alta fragmentação das áreas e à proximidade com zonas de intensa produção agrícola, o manejo, a conservação e a recuperação dos remanescentes florestais tornam-se essenciais. Esses fragmentos ainda sustentam importantes serviços

ecossistêmicos, e sua biodiversidade é fundamental para manter a qualidade do habitat necessária à continuidade desses serviços (Ribeiro et al. 2009; Oliveira et al. 2025).

Considerando a conservação dessas áreas florestais e das espécies presentes nessa região da Mata Atlântica, tem-se dado importância em práticas adequadas para a manutenção delas, ganhando força ações que melhoram a preservação (Rorato et al. 2018). Algumas diretrizes estão direcionando essas práticas como: dar prioridade de conservação em grandes fragmentos, colocar ações de preservação em prática e manejo adequado da matriz ao redor dos fragmentos para minimizar o efeito de borda (Ribeiro et al. 2009). Importante ressaltar que no atual cenário crítico de conservação da Mata Atlântica, cada remanescente é importante para a conservação das espécies pois abriga um dataset único de espécies (Ribeiro et al. 2009). Curran e colaboradores (2010) destacam a importância da restauração correta para a contribuição e desenvolvimento das comunidades. Com isso, sugere-se que em locais que são propensos a geadas sejam plantadas espécies de habitats ribeirinhos ou coníferas, permitindo o estabelecimento de um dossel. As espécies que são vulneráveis a geadas devem ser plantadas em outros habitats ou sob esse dossel, garantindo seu estabelecimento ou desenvolvimento em outras áreas (Curran et al. 2010).

Neste sentido, o presente trabalho pretende comparar as estratégias morfológicas e fisiológicas de espécies nativas e exóticas que são utilizadas em áreas de restauração, além de comparar a capacidade de termotolerância foliar a baixas temperaturas em espécies presentes nos fragmentos de APP na região Noroeste do estado de São Paulo. A análise destes pontos irá permitir entender quais conjuntos de estratégias podem estar associados para garantir a sobrevivência dessas espécies frente aos eventos de baixas temperaturas. É de extrema importância para se entender os processos de conservação e restauração de ambientes naturais frente a recuperação após eventos naturais extremos como as geadas, especialmente no que

diz respeito a espécies que possam ser utilizadas para processos de restauração que consigam tolerar baixas temperaturas.

4. Referências bibliográficas

- Antonio, A. C., Scalon, M. C., Rossatto, D. R. (2023). Leaf size and thickness are related to frost damage in ground layer species of Neotropical savannas. *Flora*, 299, 152208.
- Araujo, F. M., Cristina, M. S., Anand, M. (2021). Frost hinders the establishment of trees in highland grasslands in the Atlantic Forest ecotone region of southern Brazil. *Journal of Vegetation Science*, 32(4), e13053.
- Asibey, M. O., Cobbinah, P. (2023) The evidence for climate change on our planet. In: The Palgrave handbook of global sustainability. Cham: Springer International Publishing, p. 223-238.
- Assis, G. B. D., Suganuma, M. S., Melo, A. C. G. D., Durigan, G. (2013). Uso de espécies nativas e exóticas na restauração de matas ciliares no estado de São Paulo (1957-2008). *Revista Árvore*, 37, 599-609.
- Barbosa, L. M., Shirasuna, R. T., Lima, F. D., Ortiz, P. R. T., Barbosa, K. C., Barbosa, T. C. (2017). Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Botânica, 7- 344.
- Beck, E. H., Heim, R., Hansen, J. (2004). Plant resistance to cold stress: Mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening. *J. Biosci*, 29, 449–459.
- Burke, M. J., Gusta, L. V., Quamme, H. A., Weiser, C. J., Li, P. H. (1976). Freezing and injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 27(1), 507-528.
- BRASIL. (2012). Código Florestal. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.

- Campanili M., Prochnow, M. (2006). Mata Atlântica - Uma Rede pela Floresta. Brasília: RMA.
- Curran T. J., Reid E. M., Skorik C. (2010). Effects of a severe frost on riparian rainforest restoration in the Australian wet tropics: foliage retention by species and the role of forest shelter *Restor. Ecol.*, 18.
- Charrier G., Ngao J., Saudreau M., Améglio T. (2015). Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees *Front. Plant Sci.*, 6.
- Choi, Y. D. (2004). Theories for ecological restoration in changing environment: toward “futuristic” restoration. *Ecological Research* 19: 75–81.
- Curran, T. J., Reid, E. M., Skorik, C. (2010). Effects of a severe frost on riparian rainforest restoration in the Australian wet tropics: foliage retention by species and the role of forest shelter. *Restoration Ecology*, 18(4), 408-413.
- Diffenbaugh, N. S., Field, C. B. (2013). Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions. *Science*, 341(6145), 486-492.
- Di Francescantonio, D., Villagra, M., Goldstein, G., Campanello, P. I. (2020). Drought and frost resistance vary between evergreen and deciduous Atlantic Forest canopy trees. *Functional Plant Biology*, 47(9), 779-791.
- Di Sacco, A., Hardwick, K. A., Blakesley, D., Brancalion, P. H., Breman, E., Cecilio Rebola, L., Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, 27(7), 1328-1348.

- Duker, R., Cowling, R. M., du Preez, D. R., van der Vyver, M. L., Weatherall-Thomas, C. R., Potts, A. J. (2015). Community-level assessment of freezing tolerance: frost dictates the biome boundary between Albany subtropical thicket and Nama-Karoo in South Africa. *Journal of Biogeography*, 42(1), 167-178.
- Durigan G., Franco G. A. D. C., Saito M, Baitello J. B. (2000). Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 23(4), 371-383.
- Guan, X., Gao, Z., Huang, J., Cao, C., Zhu, K., Wang, J. (2022). Speeding extreme cold events under global warming. *Environmental Research Letters*, 17(8), 084012.
- Haddad N. M., Brudvig L. A., Clobert J., Davies K. F., Gonzalez A., Holt R. D. et al. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2): e1500052–e1500052.
- Hobbs, R. J. (2007). Setting effective and realistic restoration goals: key directions for research. *Restoration Ecology* 15: 354–357.
- Hobbs, R. J., Cramer, V. A. (2008). Restoration ecology: interventionist approaches for restoring and maintaining ecosystem function in the face of rapid environmental change. *Annual Review of Environment and Resources*, 33(1), 39-61.
- Hoffmann, W. A., Flake, S. W., Abreu, R. C. R., Pilon, N. A. L., Rossatto, D. R. Durigan, G. (2019). Rare frost events reinforce tropical savanna-forest boundaries. *J. Ecol.*, 1–10.
- Inouye, D. W. (2000). The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change. *Ecology Letter* 3, 457-463, 2000.

- Klein, R. J., Midgley, G. F., Preston, B. L., Alcam, M., Berkhout, F. G. H., Dow, K., Shaw, M. R. (2014). Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. IPCC fifth assessment report, Stockholm, Sweden.
- Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., OtiMensah, E. A., Adormaa, B. B. (2018). Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific research and reports*, 17(6), 1-9.
- IPCC. (2019). Chapter 1: Framing and Context. In Idris, I. E.; Fischlin A.; Gao, X. (Eds.), *Global Warming of 1.5 °C. Contribution of working group i, ii and iii to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, 51-91.
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. A 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, 151 pp.
- Oliveira Filho A. T., Fontes M. A. L. (2000). Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica*, 32, 793-810.
- Oliveira S. C; Tsafack N; Cario M; Rossatto D. R; Bischoff A; Fernandes O. A. (2025). The role of tropical forest fragment vegetation in maintaining arthropod diversity and spillover to adjacent sugarcane fields. *Agricultural and Forest Entomology* 27: afe.70011.

- Ranta, P., Blom, T. O. M., Niemela, J. A. R. I., Joensuu, E., Siitonen, M. (1998). The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. *Biodiversity & Conservation*, 7, 385-403.
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological conservation*, 142(6), 1141-1153.
- Rorato, D. G., Araujo, M. M., Tabaldi, L. A., Turchetto, F., Griebeler, A. M., Berghetti, Á. L., Barbosa, F. M. (2018). Tolerance and resilience of forest species to frost in restoration planting in southern Brazil. *Restoration Ecology*, 26(3), 537-542.
- Russell, J. M., & Tedder, M. J. (2020). Frost tolerance in *Vachellia sieberiana* var. *woodii* in the high-altitude grasslands of southern Africa. *South African Journal of Botany*, 128, 239-245.
- Sakai, A., Larcher, W. (1987). Frost Survival of Plants: Responses and Adaptation to Freezing Stress. *Ecological Studies*, 62. Springer-Verlag, New York.
- Turchetto, F., Araujo, M. M., Griebeler, A. M., Rorato, D. G., Berghetti, Á. L. P., Barbosa, F. M., de Lima, M. S. (2020). Can intensive silvicultural management minimize the effects of frost on restoration plantations in subtropical regions?. *Journal of Environmental Management*, 269, 11083.
- Prăvălie, R. (2018). Major perturbations in the Earth's forest ecosystems. Possible implications for global warming. *Earth-Science Reviews*, v. 185, p. 544-571.
- Pearce, R. S. (2001). Plant freezing and damage. *Annals of botany*, 87(4), 417-424.

- Pilon, N. A. L., Cava, M. G., Hoffmann, W. A., Abreu, R. C., Rossatto, D. R., Durigan, G. (2022). Effects and response of the Cerrado ground-layer to frost along the canopy cover gradient. *Oecologia*, 200(1-2), 199-207.
- Veloso, H. P., Rangel Filho A. L. R., Lima J. C. A. (1991). Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: CDDI Departamento de Editoração, 123.
- Valduga, M. O., Zenni, R. D., Vitule, J. R. (2016). Ecological impacts of non-native tree species plantations are broad and heterogeneous: a review of Brazilian research. *Anais da academia brasileira de ciências*, 88, 1675-1688.