



Universidade do Estado da Bahia
Departamento de Ciências Exatas e da Terra II
Programa de Pós-Graduação em
Modelagem e Simulação de Biosistemas



Jéssica Figuera Oliveira Miranda

**Distribuição e previsão de ocorrência de espécies
de Fabaceae em Mata Atlântica (Brasil)**

Alagoinhas, Bahia (Brasil)
2025

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas

Jéssica Figuera Oliveira Miranda

Distribuição e previsão de ocorrência de espécies de Fabaceae em
Mata Atlântica (Brasil)

Dissertação apresentada à Universidade do Estado da Bahia, Curso de Modelagem e Simulação de Biosistemas, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Modelagem e Simulação de Biosistemas.

Área de conhecimento: Interdisciplinar

Linha de Pesquisa: Análise de Biosistemas

Orientadora: Dra. Maria Dolores Ribeiro Orge, UNEB.

Alagoinhas, Bahia (Brasil)

2025

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UNEB

Departamento de Ciências Exatas e da Terra – DCET (*Campus II*)

Profa. Dra. Adriana dos Santos Marmori Lima

Reitora

Prof. Dr. Elizeu Clementino de Souza

Pró-Reitor de Pesquisa e Ensino de Pós-Graduação

Sistema de Bibliotecas da UNEB
Biblioteca Carlos Drummond de Andrade – *Campus II*
Manoela Ribeiro Vieira
Bibliotecária – CRB 5/1768

O000o Miranda, Jéssica Figuera Oliveira
Distribuição e previsão de ocorrência de espécies de Fabaceae em Mata Atlântica (Brasil)/ Jéssica Figuera Oliveira Miranda – Alagoinhas, 2025.
83 f. il.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Dolores Ribeiro Orge

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado da Bahia, Programa de Pós-graduação em Modelagem e Simulação de Biossistemas - Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Mestrado em Modelagem e Simulação de Biossistemas. Alagoinhas, 2025.


1. Espécies arbóreas – *Swartzia flaevingii* 2. Mapeamento 3. Mata Atlântica
I. Orge, Maria Dolores Ribeiro. II. Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Ciências Exatas e da Terra. III. Título.

CDD – 000.0000


FOLHA DE APROVAÇÃO
"DISTRIBUIÇÃO E PREVISÃO DE OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES DE FABACEAE EM
MATA ATLÂNTICA (BRASIL)"

JÉSSICA FIGUERA OLIVEIRA MIRANDA


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas – PPGMSB, em 25 de março de 2025, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Modelagem e Simulação de Biosistemas pela Universidade do Estado da Bahia, conforme avaliação da Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
MARIA DOLORES RIBEIRO ORGE
Data: 25/03/2025 15:21:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Professora Dra. MARIA DOLORES RIBEIRO ORGE
UNEB - PPGMSB, Orientadora.
Doutorado em Ecología y Medio Ambiente
Universidad Complutense de Madrid

 Documento assinado digitalmente
YUSDEL DIAZ HERNANDEZ
Data: 25/03/2025 15:46:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. YUSDEL DÍAZ HERNÁNDEZ
UNEB - PPGMSB, Avaliador interno.
Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

 Documento assinado digitalmente
JEANE DENISE DE SOUZA MENEZES
Data: 25/03/2025 16:06:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. JEANE DENISE DE SOUZA MENEZES
Faculdade Santíssimo Sacramento - FSSS, Avaliadora externa.
Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Universidade Federal de Sergipe

 Documento assinado digitalmente
ROMULO MENDONÇA MACHADO CARLEIAL
Data: 25/03/2025 20:31:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. RÔMULO MENDONÇA MACHADO CARLEIAL
Royal Botanic Gardens, Kew - RBG-KEW, Avaliador externo.
Doutorado em Zoology
University of Oxford

♡ *Dedicado a meu tio Itamar Dias (in
memoriam), pelo empenho em ensinar-me
que é necessário coragem para viver!*

Com muita gratidão! ♡

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que me permitiu alcançar meus objetivos durante todos os meus anos de estudos, e a Santo Antônio de Pádua, pelas graças concedidas durante este percurso.

À minha família, em especial aos meus pais, Maria José Dias Figuera e Charles Barboza Oliveira, a quem devo tudo o que sou e me tornei, pelo apoio incondicional e pelo incentivo que sempre recebi ao longo da minha vida. Aos meus irmãos, Ísis e Charles Filho (*in memoriam*), pois sempre seremos essa tríade inseparável. Amo vocês!

A Luã Vinicius Carvalho Miranda, meu marido e parceiro de todas as horas, que vem caminhando dedicadamente ao meu lado desde que comecei o mestrado, sendo um bom ouvinte e em quem tenho plena confiança e admiração, a quem dedico meus melhores sentimentos. Obrigada pelo apoio e o amor incondicional, você permitiu que essa caminhada fosse mais leve, trouxe-me paz nos momentos de caos, fez-me ter segurança em meio ao nervosismo, você foi luz em meio à escuridão. Sempre presente, paciente, torcendo pelo nosso sucesso e assim construindo uma vida de companheirismo e alegria. Você é essencial e imprescindível!

Ao corpo docente e técnico da Universidade do Estado da Bahia (UNEB) e do PPGMSB, pelo conhecimento que adquiri no Curso, fundamento para toda uma vida e instrumento para seguir nessa busca por elucidar nossa realidade em benefício de todos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pesquisa importante para o suporte financeiro deste trabalho.

À Profa. Dra. Maria Dolores Ribeiro Orge, pelo profissionalismo, dedicação, competência e amizade. Por ser uma orientadora solícita e minha madrinha, que nunca mediu esforços para que este trabalho transcorresse da melhor maneira possível. Levo sua pessoa como exemplo de empenho na pesquisa para ampliar as fronteiras da Ciência. Que sua amizade e orientação estejam para sempre em minha vida! Grata por todos os momentos vividos e compartilhados. Uma verdadeira mãe científica!

Aos membros da Banca de Avaliação, Prof. Dr. Yusdel Díaz Hernández (PPGMSB), Profa. Dra. Jeane Denise de Souza Menezes (FSSS) e Dr. Rômulo Mendonça Machado Carleial (RBG, Kew), pelas valiosas contribuições para aprimoramento deste trabalho.

À Profa. Dra. Mara Rojane Barros de Matos, pelas contribuições iniciais para o desenvolvimento deste trabalho.

A João Antonio Assis de Santana Batista, que sempre me encorajou a perseguir meus objetivos e ajudou-me a manter a motivação em momentos difíceis. Suas palavras de ânimo e

incentivo foram fundamentais para a realização desta dissertação. Obrigada pelos artigos escritos em parceria, cafés superfaturados e pelas conversas triviais.

À minha amiga Andressa Moraes Amâncio, que foi tanto minha terapeuta quanto minha cúmplice em escapadas que sempre me trouxeram de volta ao foco. Sua amizade é dádiva!

A Zé (*in memoriam*), por entender que “não posso, tenho que estudar” foi meu lema por dois anos seguidos e, ainda assim, continuou me convidando para comentar sobre o jogo do Vitória. Sua persistência foi admirável!

Ao pessoal da portaria, em especial a Ney pelo carinho e os cafés cedidos gentilmente pela tarde. A Josias e Valter pelo carinho e pelas conversas no final da tarde.

A Paulo Vinicius Senna Figueiredo e Bruno Oliveira Cardoso, meus colegas do PPGMSB, por compartilharem comigo momentos difíceis, mas, principalmente, momentos de grande alegria e descontração que ficarão registrados para sempre na minha memória e em meu coração. Obrigada pela agradável convivência nesses longos anos, com a certeza de que ainda teremos muito que comemorar.

Aos meus tios Roosevelt Barboza, Cássia Regina Nunes e Álvaro Nunes, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente! Obrigada aos tios pela contribuição valiosa!

Ao meu primo Sílvio Campos (*in memoriam*), por todas as boas lembranças da infância vividas ao lado do Atlético de Alagoinhas. E ao meu querido e saudoso avô Sebastião Oliveira, carinhosamente chamado de “meu novo”, cuja alegria sempre contagiava a casa e me enchia de motivação. Sua ausência é sentida todos os dias; você faz muita falta.

A Daniel Santana Santos pelo carinho e pela ajuda durante todo o percurso, por acreditar em mim e incentivar-me a ser uma pessoa melhor! Aos meus amigos-irmãos que tornaram a vida mais doce e alegre, trazendo momentos de descontração e risos, fazendo-me descobrir que a vida é muito mais divertida com a presença de vocês, a família que escolhi ter: Ivonete Maciel, Idelfonso Maciel, Fernanda Damasceno, Gabriel Santos, Gabriel Ângelo, Renilson Neves, Antônio Álvaro, e Dyogo Hudson, que mesmo de longe se fez presente nos últimos anos, fortalecendo-me com suas palavras, desafiando-me, mas, sobretudo, acreditando em meu potencial.

Agradeço a todos que torceram e auxiliaram de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho!

Gratidão! 

“Um mago nunca se atrasa nem se adianta, ele chega exatamente quando pretende chegar.” (Gandalf, o Cinzento, do livro A Sociedade do Anel – J. R.R. Tolkien).

Resumo

Este trabalho de mapeamento da distribuição e previsão de sítios de ocorrência das espécies arbóreas *Swartzia flaevingii* e *Swartzia langsdorffii* visa contribuir para o conhecimento da biogeografia da família Fabaceae no bioma Mata Atlântica. As duas espécies são endêmicas do Brasil e do bioma, respectivamente, mas têm sido escassamente estudadas, tornando este trabalho pioneiro e inovador sobre seus padrões de distribuição. Os dados de ocorrência foram obtidos da base de dados *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), sendo processados no *R CoreTeam*, com remoção de coordenadas duplicadas ou incorretas e dados sem valor. A filtragem e limpeza dos dados foi feita para o Brasil, com remoção de duplicatas, padronização dos nomes científicos e exclusão de registros sem coordenadas ou georreferenciamento. A espécie *S. flaevingii* teve 590 registros com seleção de 195 (33%) e a espécie *S. langsdorffii* teve 488 pontos com separação de 82 (17%) para as análises. As duas matrizes resultantes foram organizadas em arquivos estruturados no formato CSV (*Comma-Separated Values*) para melhor análise. As variáveis bioclimáticas preditoras foram obtidas da base de dados do WorldClim, representadas por 19 parâmetros derivados dos valores mensais de temperatura e precipitação, na escala de resolução de aproximadamente 10 km² de área. Os modelos foram gerados manualmente a partir do pacote SDM, sendo quatro algoritmos para a espécie *S. flaevingii* na primeira etapa e então os dois algoritmos de melhor desempenho para *S. langsdorffii* na fase final deste estudo. Os algoritmos MaxEnt (AUC = 0,91; TSS = 0,72) e Random Forest (AUC = 0,91; TSS = 0,66) mostraram bom desempenho pela alta eficiência na modelagem da distribuição da espécie *S. flaevingii*, seguidos do GLM (AUC = 0,82; TSS = 0,57) com acurácia razoável e o BioClim (AUC = 0,67; TSS = 0,32), menos preciso. Em seguida para a análise da espécie *S. langsdorffii*, o Random Forest (AUC = 0,97; TSS = 0,85) produziu melhor resultado com alta capacidade preditiva, seguido do MaxEnt (AUC = 0,94; TSS = 0,76) também com métricas elevadas, reforçando a aplicabilidade de ambos em estudos ecológicos. A superioridade do Random Forest foi atribuída a sua capacidade de capturar relações complexas entre variáveis ambientais. Os mapas indicaram maior adequabilidade ambiental em regiões costeiras do Brasil, onde altos valores de temperatura e precipitação são fatores determinantes. A precipitação afeta a distribuição da *S. flaevingii* e a temperatura influencia a distribuição da *S. langsdorffii*. A análise bioclimática fornece subsídios para estratégias de conservação e manejo, priorizando áreas com estabilidade climática, especialmente na Mata Atlântica, como garantia de preservação das espécies *S. flaevingii* e *S. langsdorffii* de Fabaceae, a família maior e mais importante em diversidade no bioma. Essa abordagem não apenas contribui para a proteção das espécies, mas também auxilia na seleção de áreas para a restauração de ecossistemas e no entendimento dos padrões de distribuição nos biomas.

Palavras-chaves: adequabilidade, Random Forest, MaxEnt, conservação.

Abstract

This work of mapping the distribution and prediction of sites of occurrence of the tree species *Swartzia flaevingii* and *Swartzia langsdorffii* aims to contribute to the knowledge of the biogeography of the Fabaceae family in the Atlantic Forest biome. The two species are endemic to Brazil and the biome, respectively, but have been scarcely studied, making this pioneering and innovative work on their distribution patterns. The occurrence data were obtained from the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) database, being processed in the R Core Team, with the removal of duplicate or incorrect coordinates and worthless data. The filtering and cleaning of the data were done for Brazil, with the removal of duplicates, standardization of scientific names, and exclusion of records without coordinates or georeferencing. *S. flaevingii* had 590 records with a selection of 195 (33%) and *S. langsdorffii* had 488 points with a separation of 82 (17%) for the analyses. The two resulting matrices were organized into structured files in CSV (Comma-Separated Values) format for better analysis. The predictive bioclimatic variables were obtained from the WorldClim database, represented by 19 parameters derived from the monthly values of temperature and precipitation, on a resolution scale of approximately 10 km² of area. The models were generated manually from the SDM package, with four algorithms for the species *S. flaevingii* in the first stage and then the two best performing algorithms for *S. langsdorffii* in the final phase of this study. The MaxEnt algorithms (AUC = 0.91, TSS = 0.72) and Random Forest (AUC = 0.91, TSS = 0.66) showed good performance due to their high efficiency in modeling the distribution of *S. flaevingii* species, followed by GLM (AUC = 0.82, TSS = 0.57) with reasonable accuracy and BioClim (AUC = 0.67, TSS = 0.32), less accurate. Then, for the analysis of the species *S. langsdorffii*, Random Forest (AUC = 0.97, TSS = 0.85) produced the best result with high predictive capacity, followed by MaxEnt (AUC = 0.94, TSS = 0.76) also with high metrics, reinforcing the applicability of both in ecological studies. The superiority of Random Forest was attributed to its ability to capture complex relationships among environmental variables. The maps indicated greater environmental suitability in coastal regions of Brazil, where high values of temperature and precipitation are determining factors. Precipitation affects the distribution of *S. flaevingii* and temperature influences the distribution of *S. langsdorffii*. The bioclimatic analysis provides subsidies for conservation and management strategies, prioritizing areas with climate stability, especially in the Atlantic Forest, as a guarantee of preservation of the species *S. flaevingii* and *S. langsdorffii* of Fabaceae, the largest and most important family in diversity in the biome. This approach not only contributes to the protection of species but also helps in the selection of areas for ecosystem restoration and in the understanding of distribution patterns in biomes.

Keywords: suitability, Random Forest, MaxEnt, conservation.

Lista de figuras

- Figura 1. Distribuição biogeográfica do gênero *Swartzia* destacada em vermelho no mapa mundial. 21
- Figura 2. Espécie arbórea *Swartzia flaemingii* Raddi. A. Tronco com casca em placas; B. filotaxia alterna dística, folha imparipinada e folíolos oblongos com ápice truncado, raque maior que o pecíolo; C. raque alada; D. racemo axilar, E. botão ovóide, ramo cilíndrico acinzentado, F. flor unipétala, zigomorfa, androceu heterodínamo, pistilo estipitado, G. cálice com rompimento irregular; H. fruto. 24
- Figura 3. Espécie arbórea *Swartzia langsdorffii* Raddi. A. Tronco com casca em placas; B. filotaxia alterna dística, C. folha imparipinada e folíolos oblongos com ápice truncado, raque maior que o pecíolo; D. inflorescência axilar, E. botão ovóide, ramo cilíndrico, F. flor unipétala, zigomorfa, androceu heterodínamo, G. rácemo; H. fruto. 26
- Figura 4. Diagrama de BAM e a elucidação dos fatores que determinam a distribuição geográfica de uma espécie. 29
- Figura 5. Modelo de sobreposição ecológica com a integração de ocorrências e variáveis ambientais para previsão de distribuição da espécie. 31
- Figura 6. Território brasileiro com suas respectivas unidades biológicas (biomas). 34
- Figura 7. Diagrama de atividades UML detalhando os relacionamentos entre as atividades do Processo de Modelagem de Distribuição das espécies *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii*. 36
- Figura 8. Métodos de Divisão de Amostras para Treinamento e Teste em Modelagem. 41
- Figura 9. Mapas de adequabilidade ambiental para *Swartzia flaemingii* correlacionados às variáveis bioclimáticas: A. bio_2, B. bio_4, C. bio_8, D. bio_9, E. bio_13, F. bio_14, G. bio_15, H. bio_19. 44
- Figura 10. Curva ROC gerada pelo algoritmo BioClim para *Swartzia flaemingii* Raddi. 45
- Figura 11. Distribuição potencial de *Swartzia flaemingii* no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo BioClim. 46
- Figura 12. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de *Swartzia flaemingii* pelo algoritmo BioClim. 47
- Figura 13. Curva ROC gerada pelo algoritmo GLM para *Swartzia flaemingii* Raddi. 48

Figura 14. Distribuição potencial de <i>Swartzia flaemingii</i> no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo GLM.	49
Figura 15. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de <i>Swartzia flaemingii</i> pelo algoritmo GLM.	50
Figura 16. Curva ROC gerada pelo algoritmo Random Forest para <i>Swartzia flaemingii</i> Raddi.	51
Figura 17. Distribuição potencial de <i>Swartzia flaemingii</i> no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo Random Forest.	52
Figura 18. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de <i>Swartzia flaemingii</i> pelo algoritmo Random Forest.	53
Figura 19. Curva ROC gerada pelo algoritmo MaxEnt para <i>Swartzia flaemingii</i> Raddi.	55
Figura 20. Distribuição potencial de <i>Swartzia flaemingii</i> no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo MaxEnt.	56
Figura 21. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de <i>Swartzia flaemingii</i> pelo algoritmo MaxEnt.	57
Figura 22. Mapas de adequabilidade ambiental para <i>Swartzia langsdorffii</i> correlacionados às variáveis bioclimáticas: A. bio_3, B. bio_4, C. bio_7, D. bio_8, E. bio_13, F. bio_15, G. bio_19.	59
Figura 23. Curva ROC gerada pelo algoritmo Random Forest para <i>Swartzia langsdorffii</i> Raddi	60
Figura 24. Distribuição potencial de <i>Swartzia langsdorffii</i> no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo Random Forest.	61
Figura 25. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de <i>Swartzia langsdorffii</i> pelo algoritmo Random Forest.	62
Figura 26. Curva ROC gerada pelo algoritmo MaxEnt para <i>Swartzia langsdorffii</i> Raddi.	63
Figura 27. Distribuição potencial de <i>Swartzia langsdorffii</i> no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo MaxEnt.	64
Figura 28. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de <i>Swartzia langsdorffii</i> pelo algoritmo MaxEnt.	65

Lista de tabelas

Tabela 1. Relação das 19 variáveis bioclimáticas utilizadas na distribuição potencial das espécies *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii* (Fabaceae) no bioma Mata Atlântica. 39

Tabela 2. Valores de AUC e TSS obtidos para a modelagem de nicho ecológico de *Swartzia flaemingii* Raddi. 43

Tabela 3. Valores de AUC e TSS obtidos para a modelagem de nicho ecológico de *Swartzia langsdorffii* Raddi. 58

Lista de siglas

AUC - *Area Under the Curve*

BIOCLIM - *Bioclimatic Envelope Model*

CSV - *Comma-Separated Values*

GBIF - *Global Biodiversity Information Facility*

GeoTIFF - *Geographic Tagged Image File Format*

GLM - *Generalized Linear Models*

GUI - *Graphical User Interface*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MaxEnt - *Maximum Entropy Modeling*

MDE - Modelagem de Distribuição de Espécies

PESM - Parque Estadual Serra do Mar

ROC - *Receiver Operating Characteristic*

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

TSS - *True Skill Statistic*

UML - *Unified Modeling Language*

VIF - *Variance Inflation Factor*

Sumário

1. Introdução	15
1.1 Problema	16
1.2 Justificativa	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo geral	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 Hipóteses	17
1.5 Aderência	17
2. Fundamentação teórica	18
2.1 Aspectos estruturais do bioma Mata Atlântica	18
2.2 Diversidade de <i>Swartzia</i> Schreb. (Fabaceae) no Neotrópico	20
2.3 Características de <i>Swartzia flaemingii</i> e <i>Swartzia langsdorffii</i>	23
2.4 Modelos de distribuição de espécies real e potencial	27
2.5 Do BioClim ao MaxEnt: ferramentas de modelagem ecológica	31
3. Material e métodos	34
3.1 Área de estudo	34
3.2 Modelo conceitual	35
3.3 Obtenção e tratamento de registros para geração dos modelos	37
4. Resultados e discussão	42
4.1 Distribuição e previsão de <i>Swartzia flaemingii</i>	43
4.2 Modelo gerado pelo algoritmo BioClim para <i>S. flaemingii</i>	45
4.3 Modelo gerado pelo algoritmo GLM para <i>S. flaemingii</i>	48
4.4 Modelo gerado pelo algoritmo Random Forest para <i>S. flaemingii</i>	51
4.5 Modelo gerado pelo algoritmo MaxEnt para <i>S. flaemingii</i>	54
4.6 Distribuição e previsão de <i>Swartzia langsdorffii</i>	57
4.7 Modelo gerado pelo algoritmo Random Forest para <i>S. langsdorffii</i>	59
4.8 Modelo gerado pelo algoritmo MaxEnt para <i>S. langsdorffii</i>	63
4.9 Distribuição real e potencial das duas espécies	66
5. Conclusões	67
Referências	68

1. Introdução

A degradação e a perda de habitats naturais, em grande parte causadas pela atividade humana, têm colocado em risco a existência e a perpetuação das espécies arbóreas da família Fabaceae no bioma Mata Atlântica. A deterioração dos ecossistemas florestais impacta negativamente diversos aspectos ambientais, incluindo a biodiversidade da flora e da fauna, a qualidade do solo, o ciclo hidrológico e o microclima (Brançalion *et al.*, 2016). Portanto, surge a crescente necessidade de proteção e restauração desses ecossistemas, o que demanda o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de registrar relações entre características do ambiente e a ocorrência de espécies. Compreender essas relações é garantia para o sucesso da restauração de áreas degradadas.

Para Anderson, Lew e Peterson (2003), as técnicas que buscam compreender e reproduzir a relação entre variáveis bióticas e abióticas do ambiente e a presença de determinadas espécies são parte do campo da modelagem preditiva da distribuição de espécies. Esse processo relaciona dados de ocorrência de espécies, como coordenadas geográficas, com variáveis ambientais obtidas por meio de imagens de sensoriamento remoto e dados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo a previsão de ambientes potencialmente adequados para a sobrevivência de populações viáveis. Os resultados dessa modelagem indicam as regiões de distribuição da espécie em mapas.

A análise dos padrões de distribuição geográfica emerge como uma ferramenta crucial para determinar os níveis de endemismo, influenciando diretamente na identificação de áreas prioritárias para conservação (Sylvestre, 2002). Nessa perspectiva, Thomas e Magill (2002) observaram que as investigações em taxonomia vegetal desempenham um papel fundamental ao permitir a enumeração e distinção de espécies, mapear a distribuição e as necessidades de habitats, além de documentar os usos e a raridade, fornecendo dados críticos para estabelecer prioridades de conservação substanciais.

O avanço dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e do sensoriamento remoto, aliado ao desenvolvimento de técnicas computacionais, tem sido fundamental para aprimorar e aplicar a modelagem da distribuição de espécies. Atualmente, existem diversas fontes de dados ambientais e de ocorrência, bem como técnicas de processamento de dados e modelos disponíveis, tornando o processo de modelagem cada vez mais preciso (Williams *et al.*, 2009).

A distribuição em populações pequenas e relativamente isoladas umas das outras representa um fator de risco para a manutenção das espécies, uma vez que são de maior impacto

os efeitos de deriva genética e fluxo gênico. Desse modo, torna-se fundamental gerar, de maneira rápida e eficiente, novas informações sobre sua distribuição geográfica e o status de suas populações (Seoane *et al.*, 2010).

Ao modelar a distribuição de uma espécie, é crucial considerar diversos parâmetros. A escolha das variáveis ambientais deve ser baseada nos aspectos ecológicos da espécie, podendo-se selecionar as variáveis mais relevantes para reduzir ruídos na modelagem. Além disso, os registros de ocorrência devem ser precisos e representativos da distribuição real da espécie, sendo necessário garantir uma quantidade adequada de dados para treinamento e teste dos modelos gerados.

1.1 Problema

A modelagem pode ser uma ferramenta tecnológica de precisão para mapear a distribuição atual de espécies da família Fabaceae, devido a sua importância ecológica e econômica da Mata Atlântica. A previsão de cenários potenciais de ocorrência da espécie, na vasta área de dimensão continental do bioma, serve como instrumento para aportar informação na gestão pública de ações de restauração e conservação.

1.2 Justificativa

A gestão dos recursos naturais está intrinsecamente ligada ao entendimento e à formulação de estratégias para conservação da biodiversidade. Uma área de pesquisa científica crucial nesse tema é a Informatização da Biodiversidade (do inglês *Biodiversity Informatics*), que busca suprir a demanda por tecnologias que apoiem ações de restauração e conservação.

Uma das principais limitações dos dados de registros de espécimes é a falta de completude. Entretanto, a modelagem de distribuição de espécies (MDE) oferece uma solução para preencher lacunas nesta área do conhecimento e proporciona uma nova abordagem para examinar mudanças na distribuição, variações nas populações e na diversidade ao longo do tempo. Ela pode ser aplicada para avaliar se a distribuição potencial de uma espécie tende a aumentar ou diminuir em resposta às alterações ambientais, a exemplo do que se propõe neste trabalho para as espécies arbóreas *Swartzia flaeamingii* e *Swartzia langsdorffii*, endêmicas do Brasil, em resposta à degradação da Mata Atlântica. Estudos deste tipo mostraram-se escassos, tornando a presente investigação de suas distribuições comparativas um trabalho inovador.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Mapear a distribuição e prever sítios de ocorrência das espécies arbóreas *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii* no bioma Mata Atlântica para contribuir ao conhecimento da biogeografia da família Fabaceae.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar as variáveis edafoclimáticas que influenciam na distribuição geográfica das duas espécies de Fabaceae no bioma Mata Atlântica.
- Realizar a modelagem da adequabilidade ambiental de modo a corroborar os padrões de distribuição geográfica.
- Testar e validar a eficiência dos modelos selecionados para cada espécie.
- Compreender o comportamento da distribuição das duas espécies em relação às variáveis abióticas.
- Indicar potenciais sítios de ocorrência das duas espécies no bioma Mata Atlântica.

1.4 Hipóteses

A modelagem de distribuição e previsão de cenários potenciais de ocorrência das espécies arbóreas *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii* (Fabaceae) no bioma Mata Atlântica mostrou alta acurácia e constitui trabalho inovador.

Mapas de previsão de ocorrência das espécies podem indicar áreas de valor ecológico e econômico, como instrumento para gestão pública em ações de manejo na exploração de recursos, restauração ou conservação da biodiversidade.

1.5 Aderência

Esta dissertação se concentra na modelagem e previsão de ocorrência de espécies de Fabaceae no bioma Mata Atlântica (Brasil). Está alinhada à área Modelagem Aplicada a

Biossistemas e à linha de pesquisa Análise de Biossistemas do PPGMSB, cujo objetivo principal é a contribuição ao desenvolvimento socioeconômico responsável. O estudo foi realizado por pesquisadoras do Grupo de Pesquisa Estudo de Sistemas Biológicos (SISBIOS), analisando a biodiversidade da vida terrestre (ODS 15) em áreas nativas do bioma, onde a família Fabaceae é a maior e mais importante em diversidade de espécies.

2. Fundamentação teórica

2.1 Aspectos estruturais do bioma Mata Atlântica

A Mata Atlântica se estende paralelamente ao litoral brasileiro de norte a sul, com algumas incursões no interior principalmente das regiões Sudeste e Sul (Joly *et al.*, 1999). A distribuição original abrangia uma área de aproximadamente 1,5 milhões de km² em condições ambientais extremamente heterogêneas (Ribeiro *et al.*, 2009).

Em termos de topografia, a Mata Atlântica engloba desde vegetação de planície ao nível do mar até vegetação de montanha, com altitudes superiores a 1.500 metros. Sua extensão latitudinal abrange cerca de 30°, atravessando regiões tropicais e subtropicais, o que resulta em alta variabilidade climática nesse bioma. Isso contribui para a produção de diferentes composições florestais, que se dividem em dois grandes grupos: a Floresta Ombrófila Densa, típica da faixa costeira e das escarpas serranas, com alta pluviosidade que pode chegar a mais de 4.000 mm/ano, e a Floresta Estacional Semidecidual, que ocorre no interior, com pluviosidade menor e sazonal, em torno de 1.000 mm/ano (Camara, 2003; Morellato; Haddad, 2000). Essas características climáticas, combinadas com a grande variação de altitude, favorecem uma elevada diversidade e endemismo (Mittermeier *et al.*, 1999).

Na Mata Atlântica, mais da metade das espécies arbóreas são endêmicas, de acordo com um estudo realizado por Mori, Boom e Prance (1981). Pesquisadores como Mori *et al.* (1983), Peixoto e Gentry (1990), Joly, Leitão-Filho e Silva (1991), Givnish *et al.* (2014) e Mathieu *et al.* (2015) destacaram não apenas o alto nível de endemismo em certos grupos de plantas, mas também a grande riqueza de espécies e diversidade florística encontradas nessa floresta tropical. Além disso, as formações florestais atlânticas possuem outras características distintas com alto índice de riqueza de epífitas, tanto vasculares quanto avasculares, e árvores perenes, adaptadas a climas extremamente úmidos e com ciclos de vida longos (Peixoto; Rosa; Silva, 2002; Fonseca *et al.*, 2004).

A Mata Atlântica, que originalmente se estendia pela faixa litorânea do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, atualmente abrange uma ampla variação geomorfológica em interações com outros biomas. Essa diversidade resultou na exuberante fisionomia que caracteriza o bioma em termos de variação climática, com a Floresta Ombrófila Densa próxima ao litoral, a Floresta Semidecídua no interior e a Floresta Ombrófila Mista em latitudes mais altas (Silva; Rylands; Fonseca, 2005). Permanecem apenas 15% da vegetação original, com a maior parte desta cobertura remanescente altamente fragmentada em toda a paisagem (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2019).

A fragmentação é um padrão comumente observado em muitas regiões tropicais, onde mais de 50% das florestas são secundárias ou foram perturbadas (Wright, 2005). A maioria dos remanescentes (>80%) tem menos de 50 hectares, com distância média de 1,5 km entre eles (Ribeiro *et al.*, 2009). Nas florestas secundárias de grande biodiversidade, a fragmentação da paisagem tem tido um impacto significativo na flora e na fauna do bioma, uma vez que muitas espécies dependem de fragmentos maiores para sobrevivência (Develey; Martensen, 2006; Gardner *et al.*, 2007; Laurance, 2007; Neves, 2023; Sá, 2023; Silva, 2023; Santos, 2024; Miranda *et al.*, 2025).

As áreas mais preservadas da Mata Atlântica estão localizadas nas escarpas da Serra do Mar, com aproximadamente 36,5% da vegetação original (Ribeiro *et al.*, 2009). Estas áreas são menos propícias para assentamentos humanos e inadequadas para práticas agrícolas. Na região Sudeste do Brasil, encontra-se a maior porção contínua preservada. Um marco importante para a conservação de extensas áreas do bioma, no estado de São Paulo, foi a criação do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) por meio do Decreto Estadual nº. 10.251/1977, posteriormente modificado pelos Decretos nº. 13.313/1979 e nº. 19.448/1982 (Joly *et al.*, 2012; Lapola *et al.*, 2014).

A Serra do Mar configura-se como uma macrounidade geomorfológica de grande importância na borda Atlântica das regiões Sul e Sudeste do Brasil, composta por um conjunto diversificado de escarpas íngremes, elevadas altitudes em planaltos, fatores geomorfológicos este que conferem difícil acesso. Por se tratar de uma área com relevo montanhoso acentuado, torna-se essencial que o processo de gestão incluindo a ocupação e o uso do solo seja conduzido com planejamento contínuo e monitoramento constante, especialmente por se tratar de uma região considerada prioritária para a conservação no estado (Freitas *et al.*, 2017). Na região serrana do estado do Rio de Janeiro, onde está localizado o Parque Estadual dos Três Picos,

predominam rochas graníticas e gnáissicas, pertencentes ao Terreno Oriental da Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2000; Heilbron; Machado, 2003).

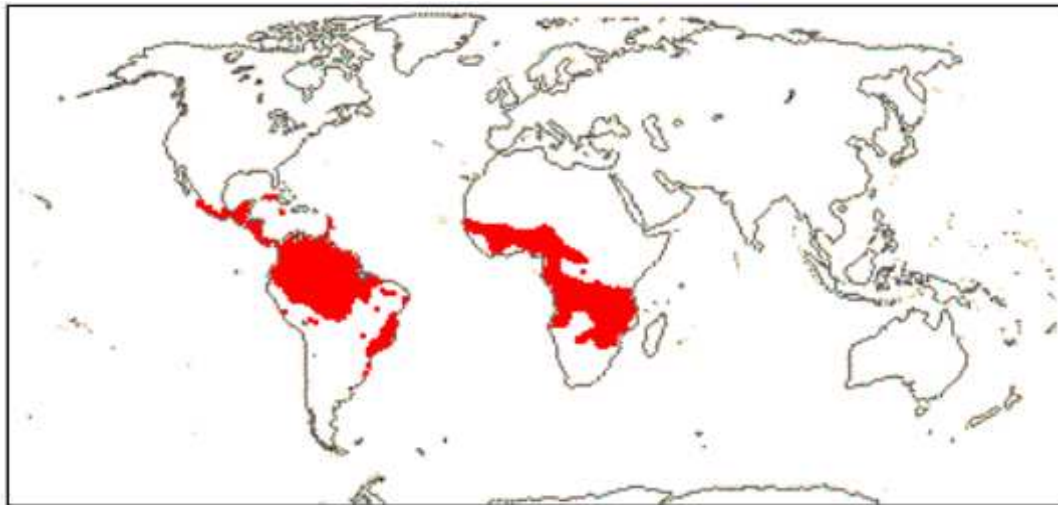
Uma das estratégias mais comuns para a preservação dos remanescentes da Mata Atlântica é a criação de unidades de conservação. Atualmente, existem cerca de 800 unidades de conservação federais e estaduais neste bioma, abrangendo aproximadamente 13 milhões de hectares. No entanto, a maioria dessas unidades (quase 92%) não oferece uma proteção completa. Apenas 684 unidades de conservação são classificadas de proteção total, cobrindo mais de 2,5 milhões de hectares em toda a Mata Atlântica (Pinto *et al.*, 2006; Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2019; Silva *et al.*, 2021). A proteção legal dos remanescentes é uma ação crucial para a preservação. No entanto, é importante ressaltar que estabelecer e categorizar unidades de conservação não são suficientes para garantir a efetividade da conservação (Britez; Castella; Pires, 2000).

No Brasil, áreas protegidas foram instaladas em terras previamente ocupadas, por isso a paisagem é altamente fragmentada. O estudo do uso da terra não se limita aos ecossistemas, mas abrange também os impactos no entorno (Diegues, 1996). Nesse contexto, a pesquisa em conservação deve se concentrar na compreensão dos processos biofísicos, ecológicos e socioeconômicos que contribuem para a complexidade do uso da terra em áreas protegidas (Primack; Rodrigues, 2001). Essa abordagem é significativa, uma vez que o mosaico de características resultante tem impactos distintos nos regimes hidrológicos, ciclos de nutrientes, clima local, qualidade do solo e preservação da biodiversidade (Burel; Audry, 2005). Portanto, é essencial compreender a interação entre fatores sociais, econômicos e ambientais para promover uma conservação efetiva e sustentável nas áreas protegidas da Mata Atlântica.

2.2 Diversidade de *Swartzia* Schreb. (Fabaceae) no Neotrópico

O gênero *Swartzia* abrange aproximadamente 180 espécies, estabelecendo-se como o maior do clado Swartzioide. Suas espécies apresentam ampla distribuição no neotrópico, principalmente em regiões de baixas altitudes (Torke; Mansano, 2009). E abrange desde a província de Noyarit, na costa do Pacífico, no México, até o norte do estado do Paraná, no Brasil (Cowan, 1967) (Figura 1).

Figura 1. Distribuição biogeográfica do gênero *Swartzia* destacada em vermelho no mapa mundial.



Fonte: Stevens (2017).

Espécies do gênero *Swartzia* apresentam ampla distribuição nos biomas, sendo particularmente comuns e diversas nas florestas de terras baixas do norte da América do Sul. Esse padrão é especialmente evidente na Bacia Amazônica e no Escudo das Guianas (Torke; Schaal, 2008). No Brasil, o gênero é predominantemente encontrado na Floresta Amazônica, mas também no Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga e Pantanal (Mansano; Pinto; Torke, 2012).

Para Mansano e Tozzi (1999), as espécies de *Swartzia* exibem uma variabilidade que vai desde arbustos até grandes árvores de dossel. Elas caracterizam-se por folhas compostas imparipinadas, podendo ser unifolioladas ou plurifolioladas, com margens inteiras e folíolos dispostos de forma oposta (alternados em *S. alternifoliolata*). O gênero se destaca por características morfológicas peculiares, como o cálice inteiro no botão floral e corola monopétala ou apétala. Embora essas características sejam singulares, aparentemente são plesiomórficas, tendo surgido precocemente na evolução do clado swartziíode (Torke; Schaal, 2008; Mansano; Souza, 2004), sendo também observadas em gêneros como *Ateleia*, *Bobgunnia*, *Bocoa* (sempre apétala), *Candolleodendron*, *Cyathostegia* e *Trischidium*. As flores apresentam estames dimórficos (trimórficos em *S. trimorphica*) e um gineceu estipitado, sendo que algumas poucas espécies possuem mais de um carpelo (Cowan 1967; Pinto; Torke; Mansano, 2012). Uma possível sinapomorfia morfológica distintiva do gênero é a presença de seiva aquosa nos troncos e ramos, a qual adquire uma coloração avermelhada quando exposta. Embora essa característica seja compartilhada por várias outras espécies de Leguminosae, é exclusiva de *Swartzia* dentro do clado swartziíode (Torke; Schaal, 2008).

Segundo Cowan (1967), os frutos e sementes de *Swartzia* exibem uma notável diversidade morfológica entre as diferentes espécies. Estes podem assumir a forma de folículos

ou legumes, apresentando de uma a várias sementes. Além disso, variam consideravelmente em termos de coloração, presença de pilosidade e formatos. Geralmente, as sementes são ariladas; no entanto, em algumas espécies, como *S. arenophila*, *S. bahiensis*, *S. glazioviana*, *S. pickellii*, *S. pinheiroana* e *S. revoluta*, o arilo está ausente (Pinto; Torke; Mansano, 2012)

A monografia de Cowan (1967) proporcionou um catálogo abrangente e descrições detalhadas da diversidade do gênero na região neotropical, documentando um total de 127 espécies. No entanto, ao analisar materiais adicionais, torna-se evidente a identificação de alguns equívocos na delimitação das espécies, bem como a presença de lacunas geográficas onde o gênero ainda não foi devidamente amostrado.

Torke e Mansano (2009) propuseram uma hipótese de divisão subgenérica consistente para *Swartzia*, delineando 15 seções, sendo a seção Possira a mais amplamente distribuída geograficamente, praticamente coincidindo com a distribuição de todo o gênero. A seção Possira também exibe táxons com descontinuidades de ocorrência e características morfológicas distintas. Um exemplo notável é o complexo *Swartzia simplex* var. *grandiflora*, que se distribui em três regiões distintas: América Central, nordeste da Bolívia e Peru, e no Brasil (da Bahia a São Paulo). Suspeita-se que essa espécie tenha uma origem híbrida, especialmente os morfotipos do nordeste e sudeste brasileiro, devido às semelhanças morfológicas entre esse possível híbrido trifoliolado e os supostos parentais: *S. simplex* var. *continentalis*, com folhas unifolioladas, e *S. myrtifolia* var. *elegans*, com folhas de penta a enefolioladas. A seção *Acutifoliae* destaca-se por ser exclusivamente brasileira, apresentando complexos intrigantes de espécies. *S. flaemingii* e *S. oblata* são reconhecidas como espécies distintas nos herbários, no entanto, características morfológicas importantes para a distinção entre elas apresentam continuidade, requerendo ferramentas adicionais para a distinção ou possível união dos táxons.

Desde o trabalho de Cowan (1967), vários estudos têm se esforçado para atender a considerável demanda taxonômica do gênero, dada sua vasta diversidade e capacidade de estabelecer-se em diferentes habitats. Sinônimos e novas espécies têm sido propostos por Cowan (1973, 1981, 1985), Barneby (1992), Pipoly e Rudas (1994), Sousa e Grether (2002), Mansano e Tozzi (2001), Mansano e Souza (2004), Torke (2004), Torke e Zamora (2010), Pinto, Torke e Mansano (2012). Além disso, estudos sobre a distribuição geográfica têm sido conduzidos por Cuello e Cowan (1999), Barneby e Heald (2002) e Mansano e Lima (2007) para aprimorar a compreensão taxonômica e geográfica do gênero *Swartzia*.

2.3 Características de *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii*

As espécies *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii* (Fabaceae) foram descritas por Giuseppe Raddi em 1820.

A espécie *S. flaemingii* tem hábito arbóreo e pode atingir até 18 metros de altura (Cowan, 1967; Lima, Tozzi e Fortuna-Perez, 2009). A planta recebe diversos nomes comuns, tais como jacarandá-do-cerrado (Oliveira; Longhi-Wagner, 2001), culhão de bode (Silva; Souza; Carreira, 2004), banha-de-galinha (Domingos, 2007), pau-sangue (Queiroz, 2007), pacova-de-macaco-miúdo (Pires, 2008), rama-de-bezerro (Aquino; Cajazeira, 2008), jacarandá-de-veado (Muniz, 2008), jacarandá-branco-do-litoral (Nacif *et al.*, 2009).

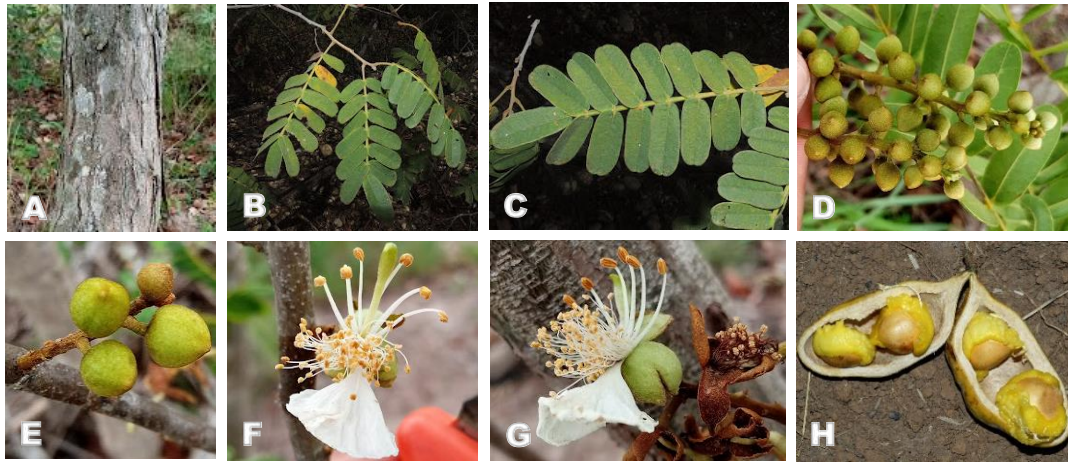
A planta se destaca por sua importância como fonte de madeira, utilizada principalmente na produção de energia, especialmente como carvão e lenha, requer uma legislação que regule sua retirada da natureza para ser colocada em prática (CNCFlora, 2012). O caule possui ramos estrigosos pilosos ou tomentosos, com folha de estípulas caducas/lineares lanceoladas ou lanceoladas agudas, pecíolo cilíndrico/estrigoso a tomentoso, pecíolulo estrigoso a tomentoso e 21 a 25 folíolos opostos ou raramente subopostos (Flora do Brasil, 2023; POWO, 2025).

O ciclo reprodutivo é marcado por floração nos meses de dezembro, março e maio, enquanto a frutificação ocorre de agosto a janeiro e de março a novembro (Muniz, 2008; Vasconcelos, 2006).

A inflorescência racemosa ou em panícula racemosa possui brácteas caducas a persistentes. A flor tem bractéolas persistentes, cálice com 4 segmentos irregulares em tamanho e forma, glabros internamente, corola com pétala vilosa serícea externamente, androceu com estames maiores glabro com anteras oblongas, estames menores glabros e gineceu unicarpelar ou bicarpelar (Flora do Brasil, 2023; POWO, 2025).

O fruto é elipsoide ou ovoide (Flora do Brasil, 2023; POWO, 2025). Os frutos são colhidos quando caem maduros ao chão e antes da herbivoria. Dada a densidade dos frutos, a prática comum é abri-los no local de coleta para extrair as sementes juntamente com o arilo, descartando o restante para reduzir a carga e facilitar o transporte. Os arilos podem ser separados das sementes com o auxílio de faca ou tesoura (Chaves; Moraes; Barros, 2017). A síndrome de dispersão pode ser anemocórica, zoocórica e antropocórica (Zipparro *et al.*, 2005; Muniz, 2008; Chaves; Moraes; Barros, 2017) (Figura 2).

Figura 2. Espécie arbórea *Swartzia flaemingii* Raddi. A. Tronco com casca em placas; B. filotaxia alternada, folha imparipinada e folíolos oblongos com ápice truncado, raque maior que o pecíolo; C. raque alada; D. racemo axilar, E. botão ovóide, ramo cilíndrico acinzentado, F. flor unipétala, zigomorfa, androceu heterodínamo, pistilo estipitado, G. cálice com rompimento irregular; H. fruto.



Fonte: Queiroz (2021).

O uso tradicional do fruto inclui o ensopado, no qual os arilos são cozidos com água e sal até ficarem macios, sendo consumidos isoladamente ou em combinação com outros alimentos. Outra prática é a elaboração de canjica, na qual os arilos são cozidos em fogo brando por aproximadamente 10 minutos, passados por uma peneira fina. Ao líquido resultante é adicionado sal e/ou açúcar a gosto, retornando ao fogo brando até atingir a consistência desejada de canjica, a ser consumida ainda quente. Embora a cor e o aroma sejam agradáveis, o sabor é *sui generis* e um tanto enjoativo (Chaves; Morais; Barros, 2017).

A distribuição da espécie vem sendo registrada desde o nível do mar até 900 metros de altitude (Moreno; Nascimento; Kurtz, 2003; Vasconcelos, 2006), ocorrendo nos estados do Pará, Tocantins, Maranhão, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro (Mansano; Lima, 2007). Abrange os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica (Mansano; Lima, 2007); em Floresta Decidual (Lima *et al.*, 2011), Floresta Estacional Semidecidual (Dan; Braga; Nascimento, 2010; Lima; Tozzi; Fortuna-Perez, 2009), Floresta Ombrófila Densa/Aberta e caráter emergente em Floresta Estacional Decídua Montana (Lima; Tozzi; Fortuna-Perez, 2009). É considerada um indicador das Florestas Ombrófilas de baixas altitudes na região Norte (Oliveira-Filho; Fontes, 2000), essa espécie é encontrada em áreas de Floresta primária ou secundária no Brasil oriental, conforme observado por Cowan (1967)

Custódio e Guedes-Bruni (2007) observaram que, apesar de esforços botânicos significativos a partir da década de 90, a espécie *S. flaemingii* não foi mais coletada na área da Reserva Biológica do Tinguá desde então e sugeriram que a fragmentação teve impacto na

dispersão de frutos e sementes, possivelmente levando a uma redução ou extinção da subpopulação local pela exigência de uma população mínima viável. Destaca-se por seu significativo potencial madeireiro, especialmente na produção de energia (CNC Flora, 2012).

A outra espécie *Swartzia langsdorffii* também apresenta hábito arbóreo e pode atingir de 8 a 14 metros de altura. A planta é conhecida popularmente como banana-de-papagaio, jacarandá-banana e jacarandá-de-sangue (Mansano; Tozzi, 1999; Lorenzi, 2000; Marqui *et al.*, 2008).

O caule possui ramos levemente estrigosos, com folha composta de 7 a 8 folíolos de estípulas caducas, glabras, subuladas, lineares, folíolos elíptico-ovalado (Flora do Brasil, 2023; POWO, 2025).

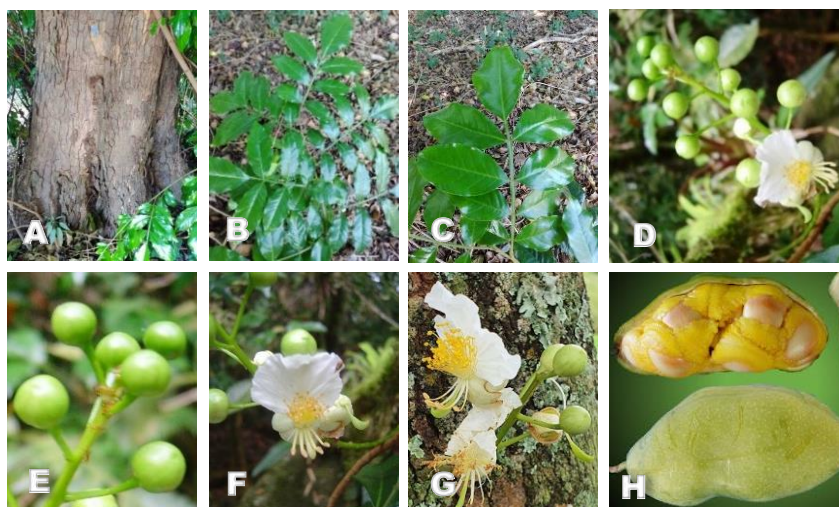
A inflorescência ou panícula racemosa, ramifloras axilares com brácteas caducas, triangulares ou amplamente ovadas. Flor com bractéolas persistentes ou decíduos, cálice glabro, quatro segmentos, coriáceo, espesso, corola de pétalas brancas e persistentes, androceu de 2 a 4 estames, maiores, caduco, glabro, com antera levemente oblata, estames, menores, glabros, com anteras levemente oblatas, gineceu glabro com estigma punctado, ovário de formato curvo a elíptico (Flora do Brasil, 2023; POWO, 2025).

Os frutos são ovados a oblongos com contorno lateralmente comprimido, possuem pericarpo alaranjado e grande, medindo entre 6 e 9 cm, lignificados e ricos em resinas compostas por taninos, saponinas e lipídios. Contêm de 1 a 6 sementes marrons recalcitrantes com arilo amarelado, cuja dispersão zoocórica e antropocórica ocorre no final do inverno por mamíferos atraídos pela cor brilhante e odor do pericarpo e do arilo (Zipparro *et al.*, 2005; Martins; Cazotto; Santos, 2014; Vaz *et al.*, 2016; Chaves; Moraes; Barros, 2017; Flora do Brasil, 2023; POWO, 2025).

O pericarpo e o arilo protegem as sementes contra dessecação, decomposição e predação, além de inibirem a germinação em períodos secos. Compostos fenólicos também atuam como inibidores de germinação, assegurando que a semente não brote em condições desfavoráveis (Swigonska *et al.*, 2014) (Figura 3).

As sementes apresentam características típicas de sementes recalcitrantes: grandes, arilo úmido, tegumento fino e embrião desenvolvido. Apesar disso, ainda não foram realizados estudos sobre sua tolerância ou sensibilidade à dessecação nem análises anatômicas que poderiam trazer informações valiosas sobre a ecofisiologia da espécie, especialmente em relação à manutenção da viabilidade no habitat natural (Maciel; Borges; Borges, 1992).

Figura 3. Espécie arbórea *Swartzia langsdorffii* Raddi. A. Tronco com casca em placas; B. filotaxia alterna dística, C. folha imparipinada e folíolos oblongos com ápice truncado, raque maior que o pecíolo; D. inflorescência axilar, E. botão ovóide, ramo cilíndrico, F. flor unipétala, zigomorfa, androceu heterodínamo, G. ráceo; H. fruto.



Fontes: Lima (2008), Flores (2022).

Taninos, saponinas e compostos fenólicos dos diásporos[©] têm ação defensiva contra herbívora e patógenos fungos e bactérias (Cipollini; Levey, 1997; Constabel *et al.*, 2000; Colpas; Oliveira, 2003; Magalhães *et al.*, 2003). Entretanto, Vaz *et al.* (2016) não detectaram predação ou remoção significativa das sementes em campo nem observaram animais se alimentando dos diásporos. Extratos se destacaram por uma marcante atividade antifúngica contra fitopatógenos e patógenos humanos, reforçando sua importância no desenvolvimento de novos princípios ativos, especialmente na multirresistência de fungos (Marqui *et al.*, 2008). Além disso, possuem alta atividade antioxidante, sendo fundamentais para a proteção celular contra estresses abióticos (Swigonska *et al.*, 2014). Algumas saponinas isoladas dos frutos e sementes de *S. langsdorffii* demonstraram alta atividade moluscicida contra o caramujo *Biomphalaria glabrata*, transmissor da esquistossomose (Magalhães *et al.*, 2003). As saponinas funcionam como potentes antinutrientes, reforçando a importância de *S. langsdorffii* como uma espécie altamente adaptada ao ambiente e com grande potencial para aplicações ecológicas e farmacológicas (Francis *et al.*, 2002).

Por não formarem bancos de sementes persistentes, essas espécies dependem de condições ambientais adequadas para o crescimento das plântulas. Geralmente ocorrem em locais com alta disponibilidade de água favorável à germinação após a dispersão (Vázquez-Yanes; Orozco-Segovia, 1993; Pammenter; Berjak, 2000).

Na região sudeste do Brasil, a espécie é encontrada nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, especialmente nas formações florestais do complexo atlântico, como a Serra do Mar.

Possui potencial ornamental e seus frutos são amplamente consumidos por várias espécies da fauna, que se alimentam do arilo suculento que envolve parcialmente as sementes. Por essa razão, é considerada relevante para projetos de plantio em áreas degradadas destinadas à preservação permanente (Mansano; Tozzi, 1999; Lorenzi, 2000; Marqui *et al.*, 2008).

Estudos sobre padrões de distribuição geográfica das duas espécies ainda são escassos no país, destacando-se algumas contribuições notáveis de Giulietti e Pirani (1988), Pirani (1990), Acevedo-Rodríguez (1990), Barros (1990), Wanderley (1990), Sakuragui (2001), Marchioretto, Windisch e Siqueira (2004), Flores e Miotto (2005).

2.4 Modelos de distribuição de espécies real e potencial

Técnicas de modelagem de distribuição de espécies potencial são baseadas na utilização de informações ambientais e geográficas para explicar os padrões observados de ocorrência de espécies. A maioria desses modelos se apoia no conceito de nicho ecológico, que teve origem com Joseph Grinnel em 1904 (Jackson; Overpeck, 2000; Peterson, 2003).

O conceito de distribuição de uma espécie engloba as noções de presença de indivíduos, existência de populações reprodutivas e a probabilidade de detecção. Por outro lado, a área de distribuição de uma espécie consiste nos subconjuntos do espaço geográfico nos quais a presença de indivíduos ou populações de uma espécie pode ser encontrada. Há também áreas nas quais não se observam populações ou indivíduos, mas que são adequadas para sua existência. As relações entre as áreas de distribuição e os nichos são determinantes para a presença de uma espécie em uma determinada região (Peterson, 2003).

A compreensão da intrincada distribuição geográfica de espécies que interagem pode ser aprimorada por meio de ferramentas especializadas. A MDE preditiva, também referida como modelagem de nicho ecológico, é uma abordagem computacional multifacetada com objetivos diversos, que incluem a previsão de áreas de ocorrência potencial de espécies e a estimativa dos impactos nas distribuições das espécies provocados por alterações, permitindo análises que subsidiam estratégias de conservação e manejo ambiental (Franklin, 2009).

Em geral, a MDE integra dados de ocorrência com variáveis ambientais, criando uma representação das necessidades ecológicas da espécie e identificando áreas propícias a sua existência. Diversos algoritmos têm sido empregados para desenvolver modelos que podem ser visualizados em um mapa, delineando áreas semelhantes àquelas onde a espécie é encontrada e suas possíveis áreas de ocorrência (Anderson; Lew; Peterson, 2003).

Conforme destacado por Soberón (2010), a modelagem de distribuição é fundamentada em aspectos essenciais que influenciam a ocorrência das espécies: 1) fatores abióticos - englobam essencialmente características ambientais, como clima, solo e altitude; 2) fatores bióticos - representam interações entre espécies que compartilham o ambiente; 3) movimentos espaciais - referem-se aos deslocamentos de indivíduos e populações que determinam a dinâmica de ocupação e dispersão.

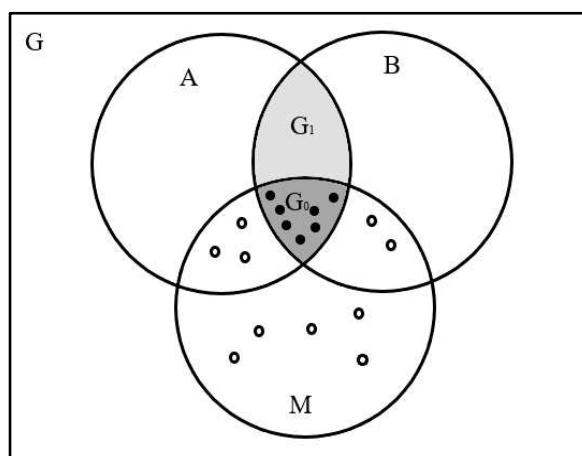
Até recentemente, a modelagem baseava-se exclusivamente em dados abióticos para criar cenários de distribuição. No entanto, com o desenvolvimento de novas técnicas, tornou-se possível incorporar conjuntos adicionais de dados, como as interações entre espécies e a dispersão (Thuiller *et al.*, 2009). Dessa forma, o progresso tecnológico, respaldado por uma base conceitual mais profunda, tem viabilizado uma série de estudos que relacionam diversos requisitos ecológicos das espécies com suas áreas de ocupação (Brown; Lomolino, 2006).

Gianini *et al.* (2012) consideraram uma tarefa desafiadora mapear o nicho de uma espécie, tanto do ponto de vista conceitual quanto prático, uma vez que as interações bióticas raramente podem ser claramente delimitadas espacialmente. No entanto, desde a década de 1970, houve avanços significativos nas técnicas computacionais para analisar a distribuição de espécies, o que ajudou a superar parcialmente essa dificuldade. Desde então, uma variedade de técnicas foram desenvolvidas, todas apoiadas pela teoria do nicho ecológico, incluindo algoritmos de regressão logística, medidas de distância ambiental, genética e entropia máxima, modelos aditivos generalizados e lineares generalizados, além de redes neurais artificiais (Guo; Kelly; Graham, 2005).

Soberón (2010) introduziu um diagrama para representar o nicho ecológico, o qual sintetiza três dos fatores biogeográficos determinantes na distribuição geográfica de uma espécie: 1) condições abióticas; 2) fatores bióticos; e 3) capacidade intrínseca de dispersão. Este esquema foi denominado como o diagrama BAM (biótico-abiótico-mobilidade) por Gatti (2013).

No diagrama a seguir estão as representações: G, região geográfica; A, área com condições abióticas propícias para a espécie, sendo uma região potencial e possivelmente não ocupada pela espécie; B, região de condições bióticas favoráveis; M, área que a espécie alcançou em determinado período; G0, área real de distribuição da espécie e G1, região que pode ser potencialmente invadida pelas condições de A e B favoráveis, embora a espécie ainda não tenha sido capaz de alcançá-la. Os círculos fechados representam a população fonte, enquanto os abertos representam a população dreno (Figura 4).

Figura 4. Diagrama de BAM e a elucidação dos fatores que determinam a distribuição geográfica de uma espécie.



Fonte: adaptado de Soberón (2010).

Sillero *et al.* (2021) afirmaram que a projeção das previsões, geradas pelos modelos sobre o espaço geográfico, resulta na elaboração de mapas de adequabilidade ambiental, que indicam o grau de semelhança entre os ambientes mapeados e aqueles onde a espécie em estudo ocorre por meio de uma escala numérica contínua, considerando o domínio das variáveis bioclimáticas preditoras utilizadas na modelagem. Dessa forma, os modelos de nicho ecológico representam uma aproximação simplificada de processos ecológicos complexos, partindo do pressuposto de que as variáveis ambientais da área de estudo refletem, de maneira aproximada, o nicho ecológico da espécie em questão (Phillips; Anderson; Schapire, 2006).

Conforme postulado por Guisan e Thuiller (2005), o uso da computação para investigar a influência das variáveis ambientais sobre a distribuição das espécies ganhou destaque nas décadas de 1970, 1980 e 1990, oferecendo respostas rápidas e fundamentadas às ameaças enfrentadas pelas espécies (Sillero *et al.*, 2021). A partir do aprimoramento dessas técnicas, estudos de modelagem foram conduzidos para diversos propósitos, incluindo a conservação e a representação da distribuição de espécies raras e endêmicas (Baart *et al.*, 2010); análises biogeográficas (Whittaker *et al.*, 2005; Siqueira; Durigan, 2007); investigações sobre rotas potenciais de doenças infecciosas (Costa; Peterson; Beard, 2002; Peterson, 2003); e previsões dos efeitos das mudanças climáticas na distribuição geográfica das espécies (Peterson, 2003; Oberhausen; Peterson, 2003; Thomas *et al.*, 2004; Pearson *et al.*, 2006; Wiens *et al.*, 2009; Bellard *et al.*, 2012).

Para iniciar o processo de modelagem, além da coleta dos dados de ocorrência das espécies e do recorte da área de estudo considerando os parâmetros ambientais e aspectos biológicos da espécie é imprescindível realizar a seleção das variáveis bioclimáticas e escolher um ou mais algoritmos capazes de estimar as possíveis correlações entre o ambiente e a

distribuição da espécie. Phillips, Anderson e Schapire (2006) denotam que, estatisticamente, o resultado da modelagem indica se um determinado local apresenta condições ambientais favoráveis à presença da espécie, mas não necessariamente confirma sua ocupação. Assim, é possível estimar a probabilidade de ocorrência da espécie na área analisada.

Na análise sobre a modelagem de distribuição de espécies, com dados de ocorrência, e previsão de distribuição potencial em diferentes cenários espaciais e temporais, Miranda, Matos e Orge (2024) indicaram a necessidade de estudos sobre espécies ameaçadas de extinção na Mata Atlântica para planos eficazes de manejo, recuperação e conservação da biodiversidade no Brasil.

A verdadeira distribuição geográfica de diversas espécies reflete a presença de indivíduos na natureza, mas permanece pouco conhecida. Portanto, os modelos de distribuição geográfica potencial são considerados uma técnica crucial para ajudar na seleção de áreas para implementar práticas de conservação. Esses modelos representam as áreas que apresentam características favoráveis para a ocorrência das espécies (Guisan; Zimmermann, 2000; Guisan; Thuiller, 2005).

Para Austin (1992), os modelos de distribuição de espécies tiveram suas origens na década de 1970, fundamentados na teoria do nicho ecológico. Ao longo dos anos, várias contribuições foram feitas para aprimorar a análise do impacto das variáveis ambientais na distribuição das espécies, resultando no desenvolvimento de diversos algoritmos distintos.

Um dos primeiros algoritmos desenvolvidos foi o BioClim (do inglês *Bioclimatic Envelope Model*), que registra a frequência de ocorrência de uma espécie em associação com características ambientais específicas. Utilizando esses dados, o BioClim identifica áreas com condições ambientais favoráveis ao estabelecimento da espécie (Peterson *et al.*, 2011).

Outro algoritmo significativo é o GARP (do inglês *Genetic Algorithm for Rule-set Prediction*), um algoritmo genético para previsão do conjunto de regras que também considera as características ambientais dos locais onde uma espécie está presente. No entanto, ao contrário do BioClim, o GARP desenvolve um conjunto de regras para indicar as regiões que apresentam condições necessárias para a ocorrência da espécie (Stockwell; Peters, 1999).

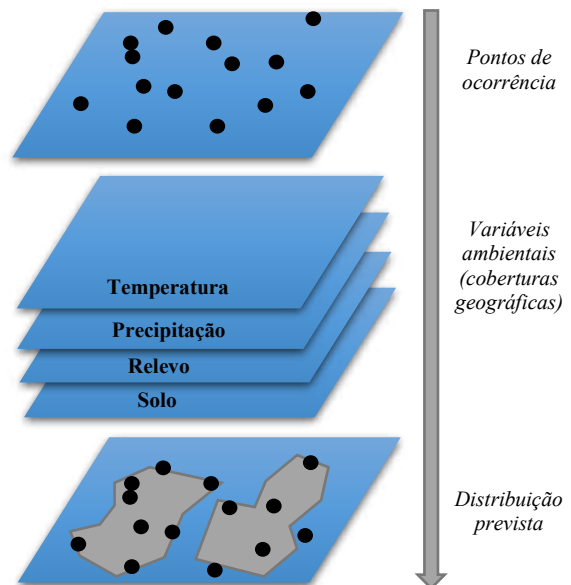
Um dos algoritmos mais amplamente utilizados atualmente é o MaxEnt, que emprega o princípio da máxima entropia para estimar um conjunto de funções relacionadas às variáveis ambientais do habitat. Isso permite uma melhor aproximação da distribuição geográfica potencial das espécies (Phillips, 2008).

Na educação, as ferramentas de modelagem promovem a consciência cidadã sobre a importância da conservação da biodiversidade e os impactos de atividades socioeconômicas na degradação ambiental (Miranda; Matos; Orge, 2024).

2.5 Do BioClim ao MaxEnt: ferramentas de modelagem ecológica

Para Munõz *et al.* (2009), a modelagem utiliza pontos de ocorrência de espécies em conjunto com variáveis ambientais e ecológicas, como temperatura, precipitação, altitude e índices de vegetação, para identificar áreas potencialmente adequadas à sobrevivência de uma população. Esses pontos de ocorrência correspondem a coordenadas geográficas que indicam os locais onde os indivíduos foram registrados ou coletados. Para plantas, por exemplo, esses dados frequentemente são obtidos a partir de fichas de exsicatas, revisões taxonômicas, inventários florísticos e estudos fitossociológicos. O resultado da modelagem é representado em um mapa, destacando as regiões com distribuição potencial das espécies (Figura 5).

Figura 5. Modelo de sobreposição ecológica com a integração de ocorrências e variáveis ambientais para previsão de distribuição da espécie.



Fonte: adaptado de Pereira e Siqueira (2007).

Existem diversos algoritmos disponíveis para realizar modelagem, exigindo boa compreensão do desempenho e funcionamento para escolha do método mais adequado (Jimenez-Valverde; Lobo; Hortal, 2008). O algoritmo BioClim, criado por Nix (1986), destaca-se como um método robusto e democrático para modelar a distribuição preditiva de diversas espécies. Inicialmente aplicado à modelagem de plantas australianas, o BioClim também demonstrou grande eficácia em estudos realizados na África e América do Norte, gerando

previsões de distribuição com alto nível de precisão (Doran; Olsen, 2001). A relevância do BioClim se consolidou através de trabalhos como de Lindenmayer, Mackey e Nix (1996), Campbell, Mitchell e Field (1999), Sumner e Dickman (1998) e Jackson e Claridge (1999). Graças a essas pesquisas, o BioClim se tornou uma ferramenta essencial e amplamente reconhecida no campo dos estudos de conservação.

Devido à ampla aplicabilidade em diversos estudos, o BioClim continua sendo um dos algoritmos mais utilizados em modelagens preditivas de distribuição de espécies, mesmo com algoritmos mais robustos e modernos como o MaxEnt. Exemplos recentes de aplicação incluem os estudos de França, Almeida e Brito (2023) sobre *Mikania micrantha* Kunth na Mata Atlântica da Bahia. Os resultados dos modelos mostram que *M. micrantha* apresenta alta adequabilidade ambiental em áreas com elevada precipitação e clima tropical, especialmente em ambientes florestais.

Modelos elaborados utilizando o algoritmo BioClim combinam pontos de ocorrência da espécie em uma determinada área com dados climáticos correspondentes a essa mesma região. O processamento desses dados climáticos e observacionais possibilita estimar a faixa de variação ambiental adequada para a espécie em questão (Guisan; Thuiller, 2005; Franklin, 2010). Dessa forma, é possível estimar a distribuição atual de uma espécie e prever novas áreas potenciais, ou seja, aquelas com características ambientais iguais ou semelhantes à área original da espécie. Esse tipo de modelagem baseia-se no mecanismo do nicho grineliiano, delimitando o conjunto de condições ambientais adequadas para a espécie e originando um envelope bioclimático (Soberón, 2007).

O MaxEnt é uma abordagem recente utilizada para modelar a distribuição geográfica potencial de espécies, apresentando bom desempenho em comparação com outros métodos. Esse programa baseia-se no princípio da máxima entropia para realizar previsões ou inferências, mesmo com informações incompletas, e possui uma interface de fácil utilização. Geralmente apresenta bom desempenho e exige apenas dados de presença para sua aplicação. Trata-se de uma das ferramentas mais amplamente utilizadas na modelagem da distribuição de espécies, destacando-se por sua eficácia, especialmente na análise de conjuntos de dados pequenos, superando outros programas nesse aspecto (Elith *et al.*, 2006; Wisz *et al.*, 2008).

As técnicas de análise ambiental que utilizam o MaxEnt permitem identificar condições ambientais semelhantes às aquelas em que a espécie foi registrada, representadas por meio dos mapas de adequabilidade ambiental. Dessa forma, a distribuição geográfica das ocorrências

pode ser estimada com base nas variáveis ambientais associadas tanto aos registros de presença quanto às características da paisagem (Lima-Ribeiro *et al.*, 2012).

Ao estimar a distribuição de uma espécie, o MaxEnt segue o princípio da projeção coerente com os dados conhecidos ou inferidos a partir das condições ambientais das localidades de ocorrência e, ao mesmo tempo, evita restrições sem fundamento. O método determina a distribuição de máxima entropia considerando as limitações impostas pelas informações disponíveis sobre a distribuição observada da espécie e as condições ambientais da área de estudo. O programa gera uma distribuição probabilística das variáveis ambientais no espaço de estudo (*background*). Para cada pixel analisado, o MaxEnt atribui um valor numérico entre 0 e 1, interpretado como uma medida de adequabilidade ambiental, e não como uma probabilidade direta de ocorrência (Barreto, 2008).

Figueiredo *et al.* (2015) avaliaram como inventários florestais podem melhorar estimativas de ocorrência e identificar preferências de habitat de espécies madeireiras, utilizando o método MaxEnt, que obteve 86% de acurácia. Altitude e NDVI foram as variáveis ambientais mais relevantes, indicando que espécies como *Ceiba pentandra* e *Hura crepitans* preferem áreas próximas a cursos d'água, enquanto outras, como *Apuleia leiocarpa* e *Astronium lecointei*, ocupam solos bem drenados. Apesar de eficaz, o modelo apresentou limitações em áreas fora do gradiente de altitude amostrado, mas oferece potencial para aplicação em espécies tropicais pouco estudadas e sob pressão madeireira.

Pedroza, Sousa e Brito (2024) postularam que espécies invasoras causam diversos prejuízos ambientais e econômicos em escala global. O estudo analisou a distribuição potencial de *Prosopis juliflora* na região Nordeste do Brasil, utilizando o modelo MaxEnt. Os resultados indicaram que fatores abióticos indicaram uma alta probabilidade de ocorrência de *P. juliflora*, abrangendo aproximadamente 9.510,51 km² de áreas altamente favoráveis. Enquanto os estados do Maranhão e Piauí possuem poucas ou nenhuma área adequada, enquanto Ceará e Rio Grande do Norte apresentam as maiores áreas favoráveis. Os fatores mais influentes na ocorrência da espécie foram a precipitação e a temperatura mínima do período mais frio. Diante disso, recomenda-se o monitoramento contínuo da região Nordeste para identificar processos de invasão e avaliar os impactos associados a essa espécie.

São escassos os artigos sobre uso de modelos que discriminem áreas com potencial de ocorrência, baseados na adequabilidade de hábitat, e sejam sensíveis às alterações na Mata Atlântica para seleção de áreas prioritárias para restauração ou conservação (Miranda; Matos; Orge, 2024).

3. Material e métodos

3.1 Área de estudo

A área de estudo foi o bioma Mata Atlântica que se estende do norte ao sul do Brasil, abrangendo desde o Piauí até o Rio Grande do Sul, acompanhando a costa brasileira e penetrando em algumas áreas do interior. O bioma cobria todo o litoral brasileiro, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul. Essa extensão territorial contempla uma ampla gama de variações geomórficas e interações com outros biomas, resultando na exuberante fisionomia na Mata Atlântica (Silva; Rylands; Fonseca, 2005). Em termos de variação climática, a Floresta Ombrófila Densa está próxima ao litoral, a Floresta Semidecídua no interior e a Floresta Ombrófila Mista em latitudes mais altas (Figura 6).

Figura 6. Território brasileiro com suas respectivas unidades biológicas (biomas).



Fonte: autoral, 2023.

A Mata Atlântica foi o primeiro domínio morfoclimático ocupado pelas missões europeias na América do Sul, possuindo o mais longo histórico de alterações da paisagem

original por populações humanas modernas. Como consequência, é o bioma mais degradado e reduzido em território brasileiro, tanto em área quanto em biodiversidade (Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021). Esta floresta tropical tem ecossistemas que abrigam uma alta biodiversidade, englobando cerca de dois terços do total de espécies existentes no planeta (Mittermeier; Fonseca; Rylands, 2005).

Essas regiões abrigam aproximadamente 62% da população brasileira e a ocupação humana tem sido a principal causa de impactos ambientais desde o tempo da colonização europeia. Como resultado, dos 1.300.000 km² originais da Mata Atlântica, hoje restam cerca de 86.000 km² distribuídos em áreas isoladas e fragmentadas (ICNT, 2024).

Pela proximidade oceânica, a Mata Atlântica inclui também ecossistemas associados, como manguezal e restinga. Com base na altitude, a floresta ombrófila densa é classificada em: florestas de planície, submontana (>400 m), montana (>800 m), sendo estas duas consideradas como Mata de Encosta e Campos de Altitude ou Altomontana (>1.200 m) (IBGE, 2012).

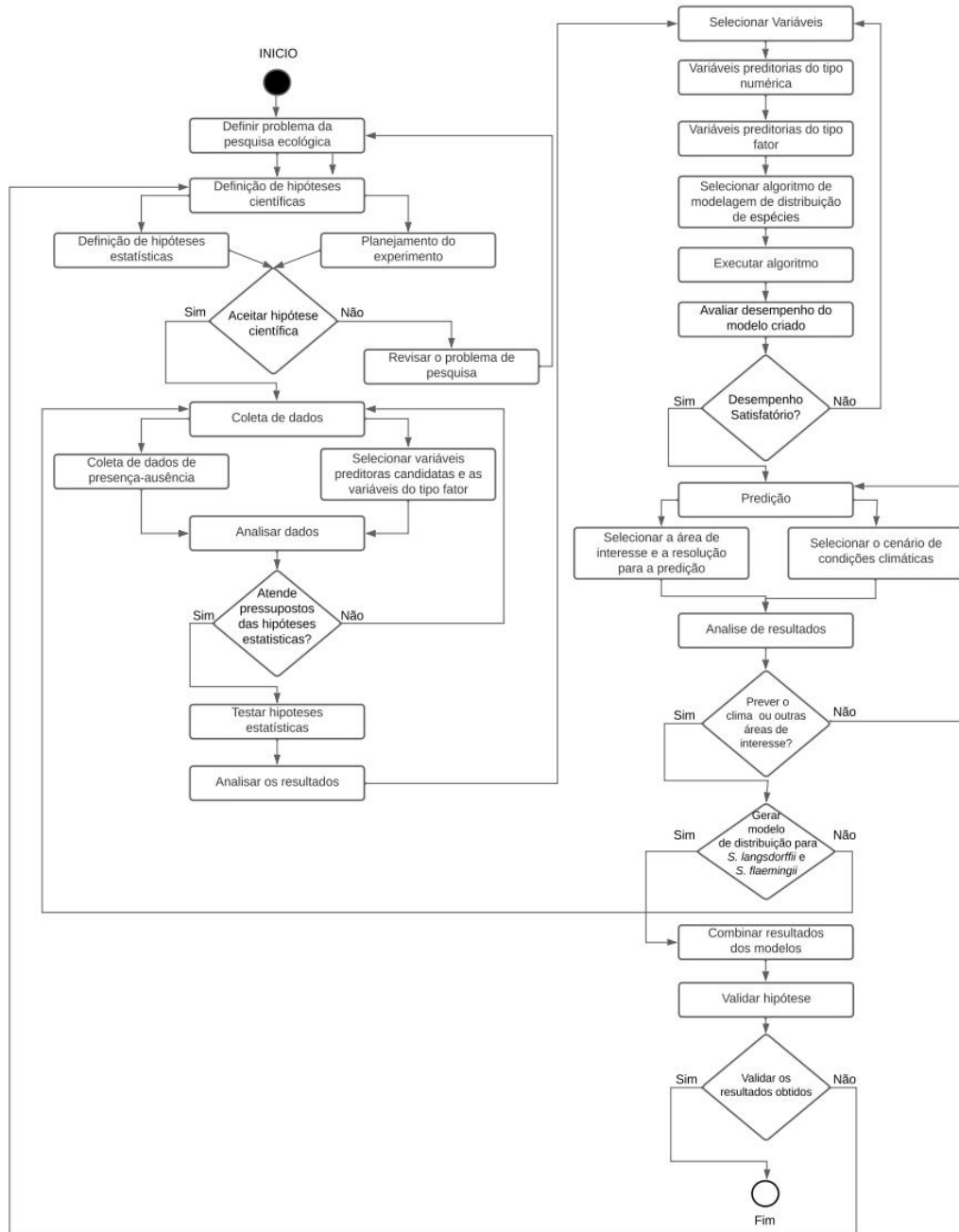
Em 2009, a Mata Atlântica foi registrada com 245.173 fragmentos, sendo dois de extensas áreas contínuas de floresta localizados na Serra do Mar: um abrangendo o estado de São Paulo até o sul do Rio de Janeiro e outro no estado do Paraná. O estado de Santa Catarina e o Vale do Ribeira em São Paulo também possuem remanescentes significativos que servem como refúgio para a biodiversidade (Ribeiro *et al.*, 2009).

O bioma caracteriza-se por apresentar elevada produtividade e localiza-se em águas aquecidas, especificamente na faixa tropical, onde a incidência de radiação solar é intensa. Recebe aporte de matéria orgânica proveniente de drenagens e nutrientes provenientes do oceano. No Brasil, o estado de Santa Catarina representa seu limite sul de distribuição natural, resultado das águas aquecidas equatoriais que alcançam suas costas pela influência da corrente do Brasil (Vercellino, 2018).

3.2 Modelo conceitual

O diagrama de atividades UML do processo de modelagem de distribuição de espécies, com elementos da linguagem UML, descreve o conjunto de ações não elementares em uma visão estruturada do processo (Figura 7).

Figura 7. Diagrama de atividades UML detalhando os relacionamentos entre as atividades do Processo de Modelagem de Distribuição das espécies *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii*.



Fonte: autoral, 2024.

Um modelo é uma formulação que simplifica e representa um fenômeno, permitindo a realização de predições. Modelos sintetizam o conhecimento sobre a situação modelada e podem destacar aspectos que necessitam de dados novos ou melhores, entre princípios, hipóteses e/ou teorias. Modelar a distribuição da flora pode contribuir para a compreensão de fenômenos históricos biogeográficos, formação de florestas, condições ambientais que

influenciam o estabelecimento das espécies nos continentes e processos relacionados à diversificação das espécies de plantas (Bjorholm *et al.*, 2006; Couvreur; Forest; Baker, 2011).

A distribuição espacial da comunidade de plantas pode ser estimada por variáveis abióticas ou bióticas, como topografia, tipo de solo, textura do solo, drenagem, fertilidade, relação com espécies vizinhas, altura do estipe (caule), tamanho do fruto, entre outras, observadas em diferentes escalas geográficas. A distribuição geográfica das plantas pode ser analisada desde níveis globais, como biomas, até o posicionamento de indivíduos em uma parcela, demonstrando que as plantas se encontram organizadas em mosaicos em uma variedade de escalas (Sousa, 2007; Tuomisto *et al.*, 2003).

A modelagem de distribuição das espécies *Swartzia flaemingii* Raddi e *Swartzia langsdorffii* Raddi foi realizada com o auxílio de *scripts* em linguagem R, desenvolvidos para produzirem análises estatísticas e gráficas utilizadas no processo de modelagem proposto. O processo de modelagem considera fatores bióticos que podem impactar a distribuição das espécies. Para facilitar a compreensão, as etapas desse processo foram decompostas em atividades, destacando os relacionamentos entre elas.

3.3 Obtenção e tratamento de registros para geração dos modelos

Os dados de ocorrência das espécies *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii* foram obtidos a partir da base de dados *Global Biodiversity Information Facility* – GBIF (www.gbif.org), sendo processados no R 4.4.1 (R CoreTeam, 2024) através dos pacotes *Dplyr* versão 1.1.4 (Wickham *et al.*, 2022) e *Tidyr* versão 1.3.1 (Wickham; Girlich, 2022) para remoção de coordenadas duplicadas ou incorretas e dados sem valor (NA, do inglês *no argument*). A filtragem e limpeza dos dados foi feita para o Brasil, com remoção de duplicatas, padronização dos nomes científicos e exclusão de registros sem coordenadas ou georreferenciamento. No processo de refinamento foram obtidos 590 pontos para a espécie *Swartzia flaemingii*, com seleção de 195 (33%) dados, e 488 pontos para a espécie *Swartzia langsdorffii*, com seleção de 82 (17%) dados, para compor o conjunto final. Ambas as matrizes resultantes foram organizadas em arquivos estruturados no formato CSV (do inglês *Comma-Separated Values*), para plotagem, leitura e análise dos dados pelo R.

Mesmo quando há confiança na identificação das espécies e/ou possibilidade de verificar a sua correção, persiste a chance de que o georreferenciamento dos pontos de ocorrência, quando disponível, não seja suficientemente preciso (Beck *et al.*, 2014). Nessa

situação, podem ser adotados procedimentos adicionais para assegurar que os dados georreferenciados correspondam adequadamente à localidade informada. Um desses procedimentos consiste em verificar se os coletores forneceram descrições do local de amostragem de forma acessível online, pois, mesmo quando o georreferenciamento é de baixa qualidade, ainda é possível recuperar as coordenadas da localidade utilizando softwares ou plataformas como o Google Earth (Guralnick *et al.*, 2007). Embora essa não seja a abordagem mais adequada para coleta ou limpeza de dados, em determinados casos, pode representar a única alternativa viável para garantir a usabilidade das informações.

O grupo de variáveis bioclimáticas preditoras foi obtido na base de dados do WorldClim (www.worldclim.org), em sua versão 2.1, composto por 19 variáveis derivadas dos valores mensais de temperatura e precipitação, no padrão *Geographic Tagged Image File Format* (GeoTiff), na resolução de 5 arco minutos (aproximadamente 10 km² de área), através do pacote *GeoData*, que pode ser usado no formato GeoTIFF (.tif, .tiff) para armazenar dados geoespaciais (Peterson *et al.*, 2011). O GeoTIFF é um formato de *Raster* georreferenciado que inclui metadados espaciais, como sistema de coordenadas e projeção (Hijmans *et al.*, 2024).

Para mitigar os efeitos de colinearidade nos modelos, as variáveis bioclimáticas foram avaliadas utilizando o Fator de Inflação da Variância (VIF, do inglês *Variance Inflation Factor*) (*threshold* <5). A aplicabilidade da função VIF foi feita com abordagem manual, o que não requereu a utilização da biblioteca CAR (do inglês *Companion to Applied Regression*), um dos pacotes que fornecem funções e ferramentas para análise de regressão, amplamente utilizada para análise estatística aplicada, especialmente em regressão linear e modelos estatísticos avançados (Singh, 2024). Vários pacotes disponíveis no R fornecem funções e ferramentas para executar tarefas relacionadas à análise e visualização de dados (Jain; Goel, 2023).

O VIF mede a intensidade da correlação entre um preditor e os demais preditores do modelo, indicando o grau de multicolinearidade. Um VIF >10 é geralmente considerado um indicativo de problemas de colinearidade, com implicações no erro padrão e na estabilidade do modelo. A partir dessa análise, foram selecionadas as variáveis com VIF <5, garantindo que não houvesse multicolinearidade significativa entre elas. Variáveis com VIF entre 1 e 5 apresentam uma correlação moderada e não comprometem gravemente o modelo, enquanto aquelas com VIF >5 indicam multicolinearidade mais alta, o que exige ajustes para melhorar a robustez da análise (Naimi; Araújo, 2016).

Na modelagem de espécies, o pacote SDM (do inglês *Species Distribution Modelling*) versão 1.1-8 possui uma interface gráfica integrada, que permite que os usuários realizem todas

as etapas do processo desde a entrada dos dados até a análise dos resultados, sem a necessidade de utilizar comandos de programação (Guisan; Thuiller; Zimmermann, 2017). A análise e a seleção das variáveis finais para o modelo foram realizadas através do pacote SDM (Naimi *et al.*, 2014), sendo o principal recurso empregado na elaboração desta dissertação.

As variáveis refletem condições climáticas, como temperatura, precipitação e sazonalidade, que influenciam diretamente o habitat adequado para modelar a distribuição da espécie. Foram usadas em cada espécie:

i) *S. flaemingii*: variação diurna da temperatura média (bio_2), sazonalidade da temperatura (bio_4), temperatura média do trimestre mais úmido (bio_8), temperatura média do trimestre mais seco (bio_9), precipitação do trimestre mais chuvoso (bio_13), precipitação do trimestre mais seco (bio_14), sazonalidade da precipitação (bio_15) e precipitação do trimestre mais frio (bio_19) (Tabela 1).

ii) *S. langsdorffii*: isothermalidade (bio_3), sazonalidade da temperatura (bio_4), amplitude térmica anual (bio_7), temperatura média do trimestre mais úmido (bio_8), precipitação do trimestre mais chuvoso (bio_13), sazonalidade da precipitação (bio_15) e precipitação do trimestre mais frio (bio_19) (Tabela 1).

Tabela 1. Relação das 19 variáveis bioclimáticas utilizadas na distribuição potencial das espécies *Swartzia flaemingii* e *Swartzia langsdorffii* (Fabaceae) no bioma Mata Atlântica.

Código	Variáveis bioclimáticas	<i>Swartzia flaemingii</i>	<i>Swartzia langsdorffii</i>
bio_1	Temperatura média anual		
bio_2	Variação diurna da temperatura média (média mensal (T _{máx} - T _{mín}))	X	
bio_3	Isotermalidade ((bio_2 / bio_7) * 100)		X
bio_4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão * 100)	X	X
bio_5	Temperatura máxima do mês mais quente		
bio_6	Temperatura mínima do mês mais frio		
bio_7	Amplitude térmica anual (bio_5 - bio_6)		X
bio_8	Temperatura média do trimestre mais úmido	X	X
bio_9	Temperatura média do trimestre mais seco	X	
bio_10	Temperatura média do trimestre mais quente		
bio_11	Temperatura média do trimestre mais frio		
bio_12	Precipitação anual		
bio_13	Precipitação do trimestre mais chuvoso	X	X
bio_14	Precipitação do trimestre mais seco	X	
bio_15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)	X	X
bio_16	Precipitação do trimestre mais chuvoso		
bio_17	Precipitação do trimestre mais seco		
bio_18	Precipitação do trimestre mais quente		
bio_19	Precipitação do trimestre mais frio	X	X

Fonte: autoral, 2024.

O pacote *Shiny* também pode ser utilizado para criar aplicativos personalizados, possibilitando a interação em tempo real com os modelos e seus resultados. A utilização de interfaces gráficas (GUI) apresenta diversas vantagens nesse contexto, como a facilidade de uso, uma curva de aprendizado mais acessível para usuários com pouca ou nenhuma experiência em programação, e a possibilidade de explorar os resultados de maneira visual e interativa. Essas ferramentas integram, de forma clara e intuitiva, gráficos, tabelas e parâmetros, facilitando a análise dos dados (Rexer; Allen; Gearan, 2011).

Após a modelagem inicial, foi realizada a verificação dos dados obtidos e a comparação entre os modelos gerados manualmente. Esse processo indicou a necessidade de desenvolver novos modelos, desta vez utilizando exclusivamente variáveis bioclimáticas. Ao término das análises, foram gerados mapas representando a distribuição geográfica potencial das duas espécies no bioma Mata Atlântica, por meio de um processo de seleção e elaboração manual conduzido no ambiente *R Studio*.

A seleção dos algoritmos foi feita da ampla variedade atual de métodos disponíveis para modelagem, sendo os mais conhecidos: BioClim (Busby, 1991), Domain (Carpenter *et al.*, 1993), GAM (do inglês *Generalized Additive Models*) (Hastie; Tibshirani, 1990), GLM (do inglês *Generalized Linear Models*) (McCullagh; Nelder, 1989; Venables; Ripley, 2002), GARP (Stockwell; Peters, 1999; Muñoz *et al.*, 2009), SVM (do inglês *Support Vector Machines*) (Schölkopf *et al.*, 2000), Random Forest (Breiman, 2001) e MaxEnt (do inglês *Maximum Entropy Modelling*) (Phillips; Anderson; Schapire, 2006). Esses métodos podem ser classificados ao longo de um gradiente que varia entre a distribuição potencial e a distribuição real, com base em sua capacidade de modelar a distribuição geográfica das espécies.

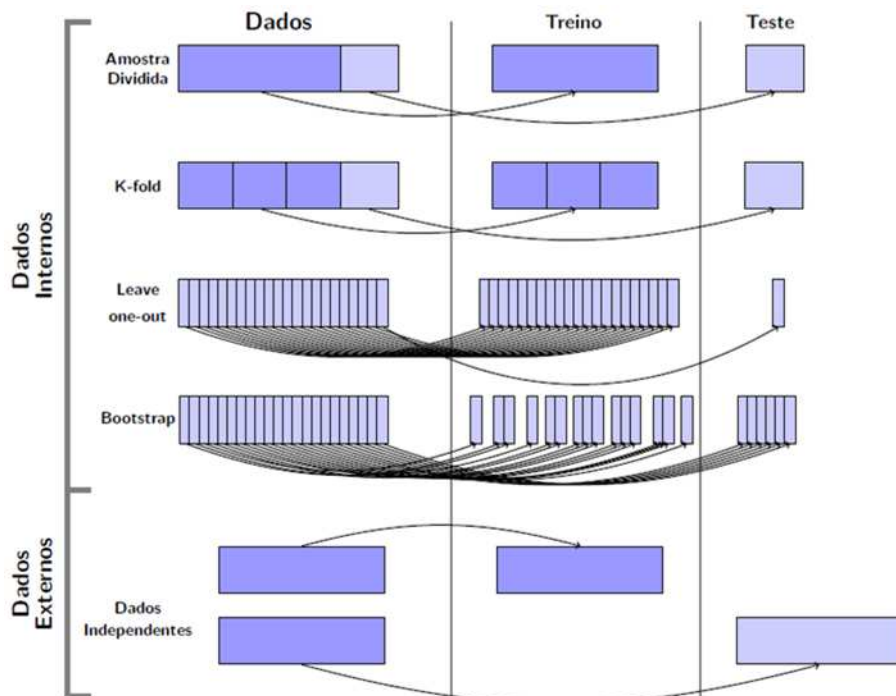
O MaxEnt tem ampla adoção pela comunidade científica, impulsionada por constantes atualizações que aprimoram sua eficiência, e sua linguagem *Java Script* também contribui para sua aplicabilidade em diferentes contextos.

Técnicas mais complexas, como GAM e GLM, que exigem dados de presença e ausência além de um volume maior de informações, são consideradas mais eficazes para modelar a distribuição real. Por outro lado, métodos mais simples, que não dependem de dados de ausência ou funcionam com um número amostral inferior a 30, como BioClim, Domain GARP e MaxEnt, são mais adequados para estimar a distribuição potencial (Jimenez-Valverde; Lobo; Hortal, 2008).

Os modelos foram apresentados na sequência BioClim, GLM, Random Forest e MaxEnt, sendo todos gerados a partir do pacote SDM (Naimi; Araujo, 2016). Para a espécie *Swartzia flaeamingii* na primeira etapa do trabalho, foram utilizados inicialmente quatro algoritmos em suas configurações padrão: BioClim, GLM, Random Forest e MaxEnt. Já para a outra espécie *Swartzia langsdorffii*, inserida posteriormente na fase final deste estudo, foram empregados os dois algoritmos de melhor desempenho na fase anterior, a saber: Random Forest e MaxEnt.

Na modelagem de distribuição de espécies, a divisão da amostra é um processo essencial para garantir que o modelo seja capaz de generalizar suas previsões e evitar o sobre ajuste aos dados disponíveis. Geralmente, a amostra é separada em três conjuntos: treinamento, validação e teste. Os dados de treinamento, que representam cerca de 75% da amostra, são usados para ajustar o modelo e aprender os padrões de distribuição das espécies em relação às variáveis ambientais. Já os dados de teste, também cerca de 25%, servem para avaliar a performance do modelo em dados nunca vistos, fornecendo uma estimativa realista de sua capacidade preditiva (Figura 8).

Figura 8. Métodos de divisão de amostras para treinamento e teste em modelagem.



Fonte: autoral, 2024.

A escolha do método de divisão depende do tamanho e da distribuição dos dados, bem como dos objetivos específicos da modelagem. Estratégias bem planejadas garantem modelos

mais confiáveis e capazes de prever com maior precisão a distribuição das espécies em diferentes condições ambientais e geográficas.

Devido às diferenças na estrutura dos algoritmos, foram gerados mapas preditivos distintos para cada espécie estudada, sendo elaborados quatro para *Swartzia flaemingii* e apenas dois com os melhores resultados na etapa anterior para *Swartzia langsdorffii*, utilizando cinco amostras em cada algoritmo. Essas variações refletem as particularidades dos métodos empregados na modelagem preditiva.

Foram geradas 1.000 pseudo-ausências aleatórias para cada predição nos algoritmos através do pacote SDM (Thuiller *et al.*, 2021). Os modelos gerados tiveram o desempenho e a eficácia avaliados pelas métricas da área sob a curva (AUC, do inglês *Area Under the Curve*), referente à ROC, e da estatística de habilidades verdadeiras (TSS, do inglês *True Skill Statistics*) projetadas para o Brasil (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006; Fielding; Bell, 1997).

A AUC é um método de avaliação independente de limiar (*threshold*), cujos valores variam de 0 a 1. Valores iguais ou inferiores a 0,5 indicam que o modelo não possui capacidade preditiva, sendo equivalente a um modelo aleatório. De acordo com as classificações propostas por Swets (1988) e Araújo *et al.* (2005), os resultados de AUC são categorizados como: excelente (0,9-1,0), bom (0,8-0,9), médio (0,7-0,8), ruim (0,6-0,7) e falha (0,5-0,6).

Enquanto o TSS é um método dependente de limiar para a maximização da sensibilidade e da especificidade do modelo. Os valores variam de -1 a +1, sendo +1 o desempenho ideal. Valores iguais ou inferiores a zero indicam que o modelo não supera o desempenho esperado de uma previsão aleatória (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006).

4. Resultados e discussão

No R, a utilização de uma interface gráfica de usuário (GUI, do inglês *Graphical User Interface*) é uma abordagem que facilita a execução de tarefas complexas, como a modelagem de espécies e a obtenção de sumários de resultados. Essa abordagem é especialmente útil para pesquisadores que preferem evitar a escrita de comandos diretamente no console e desejam interagir com os dados de forma mais intuitiva (Rexer; Allen; Gearan, 2011).

Embora o R não possua um comando específico chamado GUI, existem pacotes e ferramentas que fornecem interfaces gráficas para diversas análises, incluindo a modelagem de espécies. Um exemplo notável é o pacote BioMod2, que é amplamente utilizado e oferece funcionalidades para executar modelos, avaliar seu desempenho por métricas como AUC e

TSS, analisar a importância das variáveis preditoras e visualizar mapas de projeção (Smith, 2012).

As métricas estatísticas obtidas para cada algoritmo foram geradas por meio da interface gráfica (GUI) e apresentadas em gráficos de ROC (do inglês *Receiver Operating Characteristic*), que é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliar modelos, representando a relação entre sensibilidade e especificidade. Essa abordagem é independente da prevalência e está relacionada ao coeficiente Kappa, sendo a área sob a curva (AUC) a principal medida de desempenho. Quanto mais próxima de 1 for a AUC, melhor será o desempenho do modelo. Esse método é valorizado por ser uma medida global de desempenho que independe de limites de corte, frequentemente usados na construção da matriz de confusão (Fielding; Bell, 1997).

Mapas do Brasil foram gerados por cada modelo com base em variáveis bioclimáticas essenciais selecionadas, para entender os fatores que influenciam a distribuição potencial das espécies arbóreas *S. flaemingii* e *S. langsdorffii* do bioma Mata Atlântica, a partir do cálculo do Fator de Inflação da Variância (VIF) para minimizar a colinearidade entre os dados de cada espécie.

4.1 Distribuição e previsão de *Swartzia flaemingii*

Na modelagem da distribuição da espécie *S. flaemingii* Raddi, o modelo MaxEnt (AUC = 0,91; TSS = 0,72) gerou a melhor avaliação, demonstrando excelente capacidade preditiva e robustez para delimitar áreas de ocorrência. Seguido do Random Forest (AUC = 0,91; TSS = 0,66) também com excelente métrica ainda em um nível elevado de desempenho. O algoritmo GLM (AUC = 0,82; TSS = 0,57) obteve uma classificação boa, indicando uma capacidade preditiva satisfatória, mas inferior. Por fim, o BioClim (AUC = 0,67; TSS = 0,32) foi o menos eficiente, sugerindo uma capacidade limitada para prever a ocorrência de fenômenos modelados (Tabela 2).

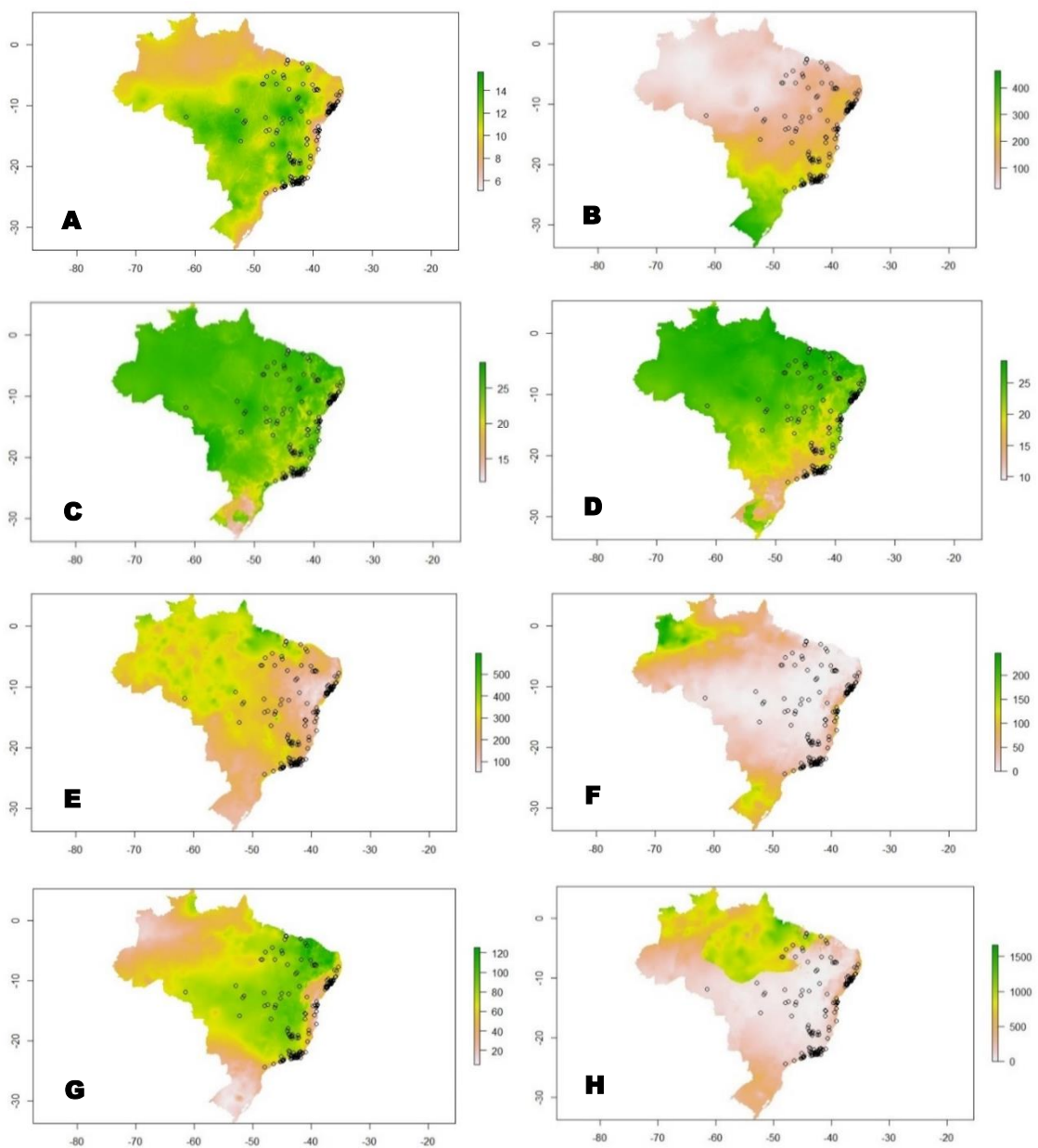
Tabela 2. Valores de AUC e TSS obtidos para a modelagem de nicho ecológico de *Swartzia flaemingii* Raddi.

Algoritmo	AUC	TSS
BioClim	0,67	0,32
GLM	0,82	0,57
Random Forest	0,91	0,66
MaxEnt	0,91	0,72

Fonte: autoral, 2024.

Os pontos de ocorrência da espécie *S. flaemingii*, marcados em preto, se concentram majoritariamente no Sudeste, Nordeste e em algumas áreas do Centro-Oeste do Brasil. Os mapas destacam a importância da sazonalidade da temperatura e da precipitação na definição de habitats propícios para distribuição geográfica em regiões com temperatura e precipitação oscilando ao longo do ano (Figura 9).

Figura 9. Mapas de adequabilidade ambiental para *Swartzia flaemingii* correlacionados às variáveis bioclimáticas: A. bio_2, B. bio_4, C. bio_8, D. bio_9, E. bio_13, F. bio_14, G. bio_15, H. bio_19.



Legenda: área verde de maior adequabilidade ambiental, área rosada a branca menos adequada.
Fonte: autoral, 2024.

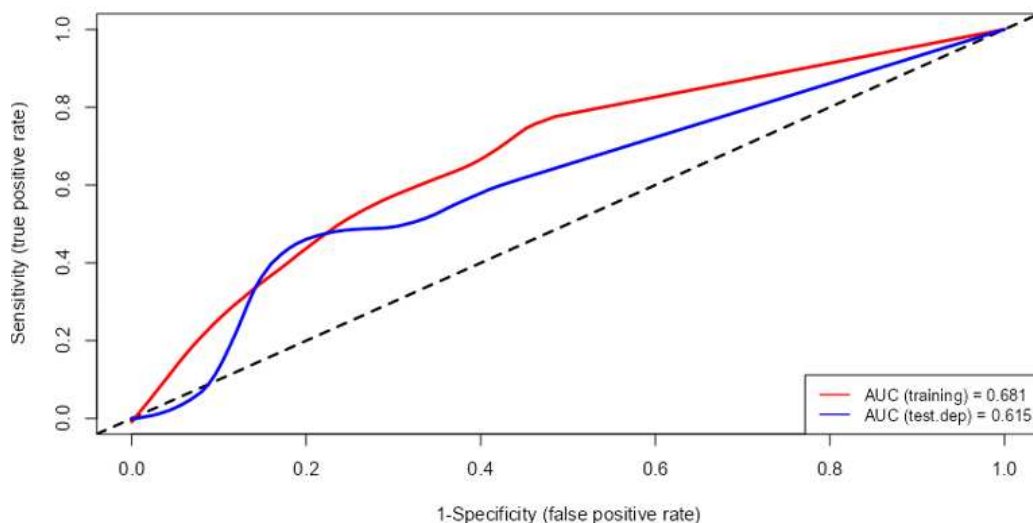
Entre as condições climáticas, usadas na previsão de adequabilidade, estão a variação diurna da temperatura média (bio_2), a sazonalidade da temperatura (bio_4), a temperatura média do trimestre mais úmido (bio_8), a temperatura média do trimestre mais seco (bio_9), a precipitação do trimestre mais chuvoso (bio_13), a precipitação do trimestre mais seco (bio_14), a sazonalidade da precipitação (bio_15) e a precipitação do trimestre mais frio (bio_19).

A análise dessas variáveis bioclimáticas, baseada em dados robustos, permite compreender melhor os fatores ambientais que determinam a ocorrência da espécie, auxilia na previsão de impactos de mudanças climáticas sobre sua distribuição futura e pode ser usada em estratégias de conservação e manejo.

4.2 Modelo gerado pelo algoritmo BioClim para *S. flaemingii*

O modelo do BioClim apresentou uma AUC de 0,681 no conjunto de treinamento e 0,615 no conjunto de teste, indicando um desempenho razoável, mas inferior a modelos com AUC mais alta. A AUC varia de 0 a 1 e mede a capacidade do modelo de distinguir entre as classes, portanto o valor 0,681 para o treinamento sugeriu a identificação de algumas das relações entre as variáveis, embora menos eficiente do que modelos com AUC superiores. A redução da AUC para 0,615 no teste pode indicar que o modelo teve uma performance um pouco pior ao generalizar para novos dados, o que pode ser um sinal de que o ajuste realizado nos dados de treinamento não foi tão robusto para os dados fora da amostra inicial (Figura 10).

Figura 10. Curva ROC gerada pelo algoritmo BioClim para *Swartzia flaemingii* Raddi.

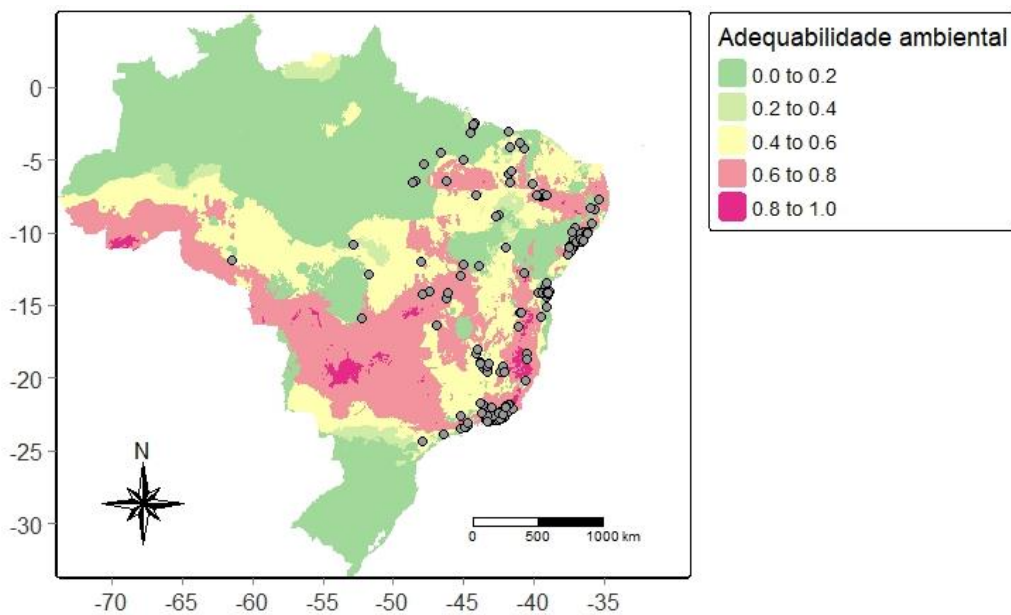


Fonte: autoral, 2024.

Embora ainda seja possível considerar a AUC acima de 0,6 como aceitável em certos contextos, essa diferença entre os conjuntos de treinamento e teste sugere que o modelo BioClim poderia ser aprimorado para melhorar sua capacidade de generalização e ajuste, possivelmente através de ajustes nos parâmetros ou considerando outras técnicas para melhorar a modelagem.

O mapa identificou a adequação climática para a distribuição potencial da espécie *Swartzia flaemingii* com base em temperatura e precipitação. A escala de cores varia do vermelho para áreas de baixa adequação climática próximo de 0 ao verde para alta adequação próximo de 0,8) (Figura 11).

Figura 11. Distribuição potencial de *Swartzia flaemingii* no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo BioClim.



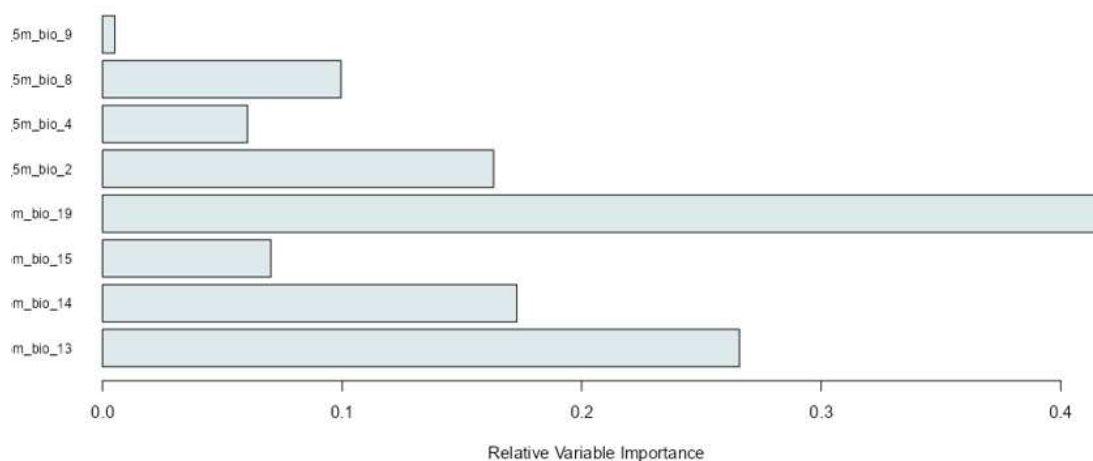
Fonte: autoral, 2024.

A área de maior adequação ambiental está concentrada no bioma Mata Atlântica, ao longo das regiões costeiras do Brasil. As áreas verdes predominam no Nordeste, Sudeste e partes do Sul, indicando que essas regiões possuem condições climáticas favoráveis para a ocorrência de *S. flaemingii*. Isso é coerente com a localização dos pontos de ocorrência, marcados no mapa por círculos pretos, que estão distribuídos especialmente nas áreas costeiras de estados como Bahia, Pernambuco, Espírito Santo, Rio de Janeiro e partes de Minas Gerais. No Nordeste, observa-se uma maior densidade de pontos na Bahia, enquanto no Sudeste, destaca-se a concentração no Espírito Santo e Rio de Janeiro. No Sul, os pontos são menos numerosos, mas ainda seguem a distribuição de alta adequabilidade climática.

Os pontos de ocorrência corroboram a modelagem realizada, sugerindo que a espécie está fortemente associada às condições climáticas da Mata Atlântica. No entanto, a dependência exclusiva do BioClim em variáveis climáticas pode limitar a análise, uma vez que fatores ecológicos, como interações com outras espécies e o uso do solo, também influenciam na distribuição real da espécie. A distribuição modelada de *Swartzia flaeamingii* reforça sua ligação com o bioma Mata Atlântica e os pontos de ocorrência confirmam a alta adequação climática das regiões costeiras.

Na previsão da distribuição de *S. flaeamingii* pelo modelo BioClim, a variável precipitação do trimestre mais frio (bio_19) se destacou como a mais relevante, seguida da precipitação do trimestre mais chuvoso (bio_13) (Figura 12). A disponibilidade hídrica nos períodos de maior escassez é crucial para a ocorrência da espécie *S. flaeamingii*, adaptada a clima úmido e estável, característico de grande parte da Mata Atlântica. Já a variação média da temperatura diurna reflete a amplitude térmica ao longo do dia, que pode influenciar diretamente processos fisiológicos essenciais da planta, como fotossíntese, respiração e transpiração.

Figura 12. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de *Swartzia flaeamingii* pelo algoritmo BioClim.



Fonte: autoral, 2024.

Ambientes com grandes oscilações térmicas podem ser mais desafiadores para a manutenção do balanço energético das plantas, especialmente em espécies que possuem adaptações específicas a condições climáticas mais moderadas. Assim, a capacidade da espécie de prosperar em áreas com menor variação de temperatura diurna reflete sua sensibilidade a esse fator. Esse resultado também reforça a necessidade de considerar não apenas variáveis

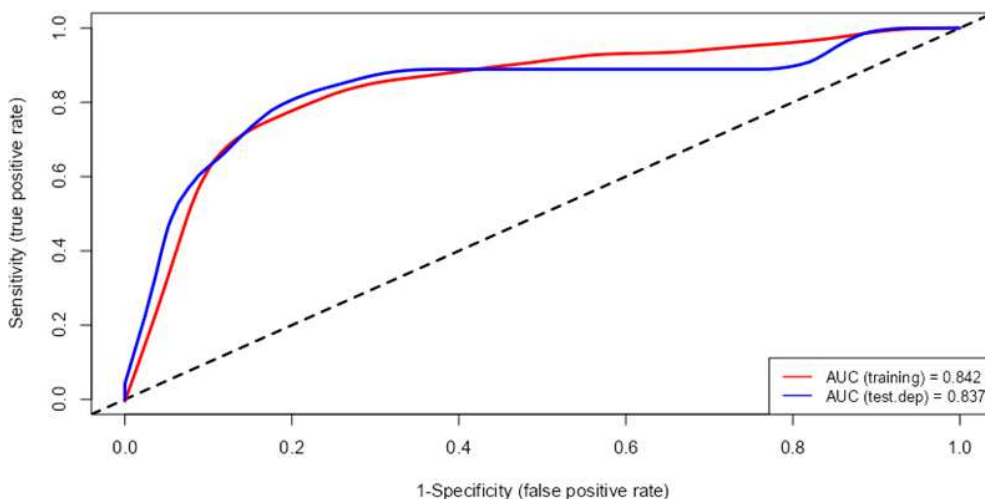
associadas à precipitação, mas também à temperatura, ao modelar a distribuição de espécies vegetais (Nobrega; De Marco Jr., 2011; Grassberger; Frank, 2003).

4.3 Modelo gerado pelo algoritmo GLM para *S. flaemingii*

Os modelos lineares generalizados (GLM) são ferramentas de modelagem que não consideram interações e utilizam variáveis lineares ou polinomiais, geralmente incluindo até termos de segunda ordem, mas raramente de terceira ou quarta ordem. Por outro lado, os modelos aditivos generalizados (GAM) apresentam maior complexidade, pois permitem o uso de funções suaves não paramétricas com flexibilidade variável (Merow *et al.*, 2014).

O GLM apresentou AUC de 0,842 no conjunto de treinamento e 0,837 no conjunto de teste, demonstrando um desempenho consistente e de alta qualidade em ambas as etapas de avaliação. Esses valores indicam que o modelo possui uma excelente capacidade de discriminar entre as classes, com uma pequena diferença entre o treinamento e o teste, o que reflete sua boa generalização para dados novos. A proximidade entre as duas métricas sugere que o modelo não sofreu *overfitting* significativo e conseguiu capturar padrões robustos nos dados. Com AUC acima de 0,8, o desempenho do GLM pode ser considerado excelente em muitos contextos, destacando sua eficácia como ferramenta preditiva (Figura 13).

Figura 13. Curva ROC gerada pelo algoritmo GLM para *Swartzia flaemingii* Raddi.



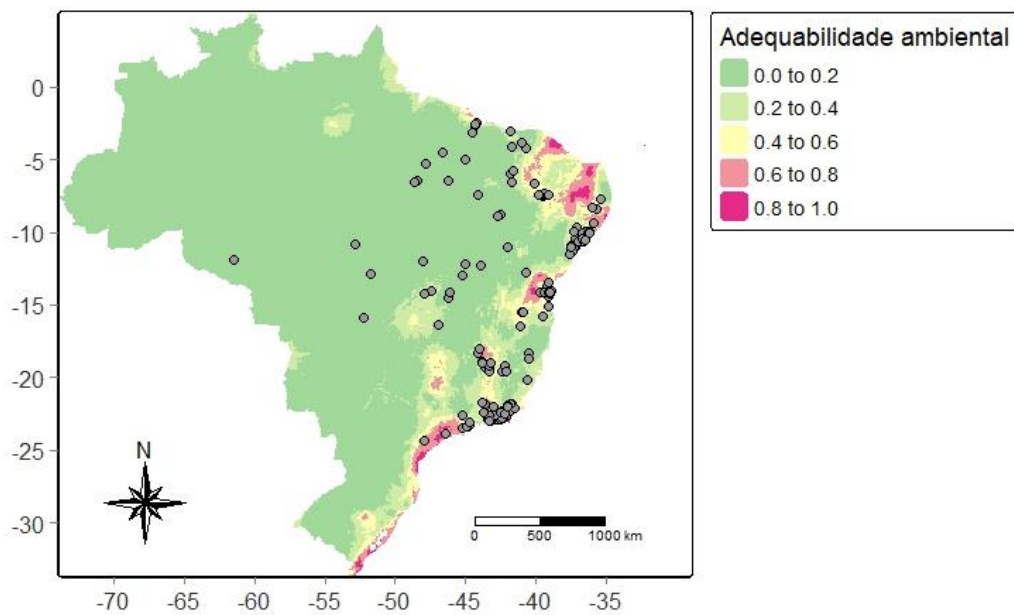
Fonte: autoral, 2024.

De acordo com Hirzel e Guisan (2002), o modelo linear generalizado é amplamente utilizado na modelagem por ser uma extensão da regressão linear múltipla clássica, permitindo a inclusão de variáveis que não seguem a normalidade. O GLM é frequentemente escolhido

devido à sua capacidade de lidar com diferentes tipos de variáveis explicativas, como contínuas, binárias, qualitativas e ordinais. Contudo, ele exige dados de presença e ausência. Quando esses dados de ausência não estão disponíveis, é possível gerar pseudoausências para alimentar os modelos.

O mapa apresentou a distribuição potencial da espécie *S. flaemingii* com adequabilidade do habitat variando entre 0,2 de baixa adequabilidade indicada por tons claros e 0,8 de alta adequabilidade indicada por tons verdes intensos (Figura 14).

Figura 14. Distribuição potencial de *Swartzia flaemingii* no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo GLM.



Fonte: autoral, 2024.

As áreas de maior adequabilidade (0,6 a 0,8) estão localizadas principalmente ao longo da costa leste do Brasil. Os estados com maior predominância incluem Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro, onde as condições ambientais são mais favoráveis para a ocorrência da espécie, evidenciadas pelas tonalidades verdes intensas no mapa.

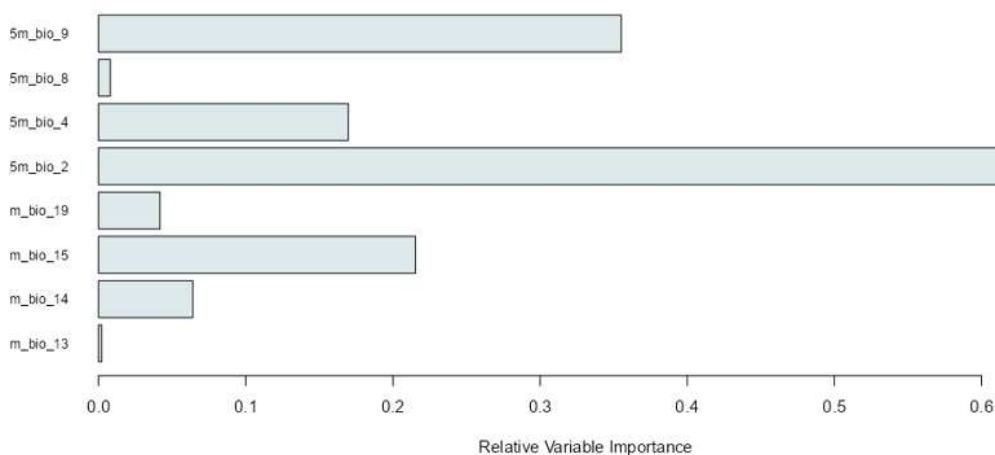
Regiões com adequabilidade intermediária (0,4 a 0,6) abrangem algumas áreas próximas ao litoral nordestino, como partes de Pernambuco e Alagoas. Essas áreas ainda apresentam potencial moderado para a ocorrência da espécie.

Por outro lado, estados como Mato Grosso, Amazonas e as regiões do extremo sul, incluindo Rio Grande do Sul e Santa Catarina, apresentam baixa adequabilidade ou ausência (0,2 a 0,4). Essas áreas possuem condições ambientais menos favoráveis para *Swartzia flaemingii*. A distribuição da espécie é fortemente influenciada pelas condições ambientais da

costa leste brasileira, enquanto o interior e o extremo sul têm baixas probabilidades de ocorrência.

A análise da importância relativa das variáveis bioclimáticas utilizando o algoritmo GLM para a modelagem da espécie fornece inferências importantes sobre fatores que mais influenciam sua distribuição geográfica. A variação diurna da temperatura média (bio_2) teve papel predominante na previsão da distribuição geográfica da espécie *S. flaemingii* pelo modelo GLM, seguida da temperatura média do trimestre mais seco (bio_9) (Figura 15). A alta sensibilidade da *S. flaemingii* a flutuações de temperatura ao longo do dia pode estar vinculada a fatores fisiológicos da planta, como tolerância térmica ou dependência de regimes climáticos específicos para germinação, crescimento e sobrevivência.

Figura 15. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de *Swartzia flaemingii* pelo algoritmo GLM.



Fonte: autoral, 2024.

Como a Mata Atlântica é um bioma caracterizado por microclimas variados devido ao relevo e à vegetação, a forte influência dessa variável indica que mudanças climáticas, que alterem padrões de temperatura, podem impactar sobremaneira na presença da espécie em determinadas áreas. Assim, áreas com variação térmica, excedendo os limites de tolerância, podem tornar-se menos adequadas para a ocorrência dessa espécie no futuro.

A sazonalidade da precipitação ou eventos climáticos extremos podem não ser determinantes diretos para a ecofisiologia de *S. flaemingii*, indicando sua maior resiliência a variações no regime de chuvas. Na Mata Atlântica, esta espécie depende de condições microclimáticas específicas para prosperar, o que reforça a necessidade de priorizar ações de conservação em regiões onde as condições ambientais favoráveis são mais estáveis. Alterações em padrões de temperatura e precipitação podem comprometer o habitat da espécie,

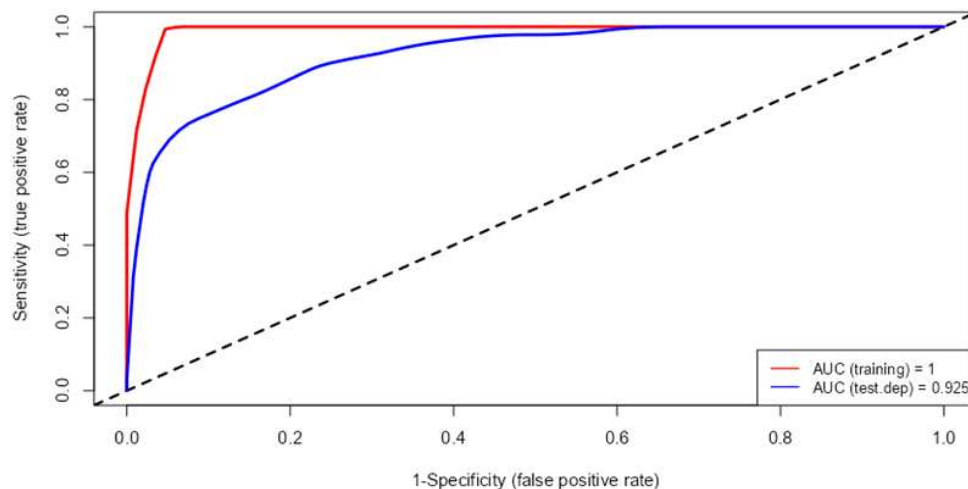
especialmente em áreas limítrofes do bioma. Dessa forma, o modelo GLM evidencia a complexidade dos fatores ambientais que influenciam a biodiversidade e a necessidade de abordagens integradas para conservação do bioma e de suas espécies endêmicas.

4.4 Modelo gerado pelo algoritmo Random Forest para *S. flaemingii*

O modelo do Random Forest apresentou AUC de 1,0 no conjunto de treinamento, indicando um ajuste perfeito aos dados de origem. Esse resultado sugere que o modelo foi capaz de separar completamente as classes nos dados de treinamento, o que é uma característica frequentemente associada à alta capacidade preditiva do algoritmo. No entanto, uma AUC máxima como essa pode ser um indicativo de *overfitting*, já que o modelo pode ter memorizado os dados de treinamento ao invés de aprender padrões generalizáveis.

No conjunto de teste, o modelo alcançou uma AUC de 0,925 de excelente desempenho, demonstrando que ele ainda mantém uma alta capacidade de discriminar entre as classes em dados não vistos. A redução da AUC de 1,0 no treinamento para 0,925 no teste confirma que o modelo não generalizou perfeitamente, mas a diferença não é tão grande a ponto de comprometer sua utilidade prática. Apesar dessa pequena diferença, a AUC de 0,925 no teste é muito elevada, consolidando o Random Forest como uma ferramenta robusta e confiável para estas previsões. Sua capacidade de lidar com dados complexos e não lineares é uma vantagem significativa, mas é importante equilibrar seu poder preditivo com a capacidade de generalização, especialmente para aplicações onde a interpretação dos resultados e a transferência para novos conjuntos de dados são críticas (Figura 16).

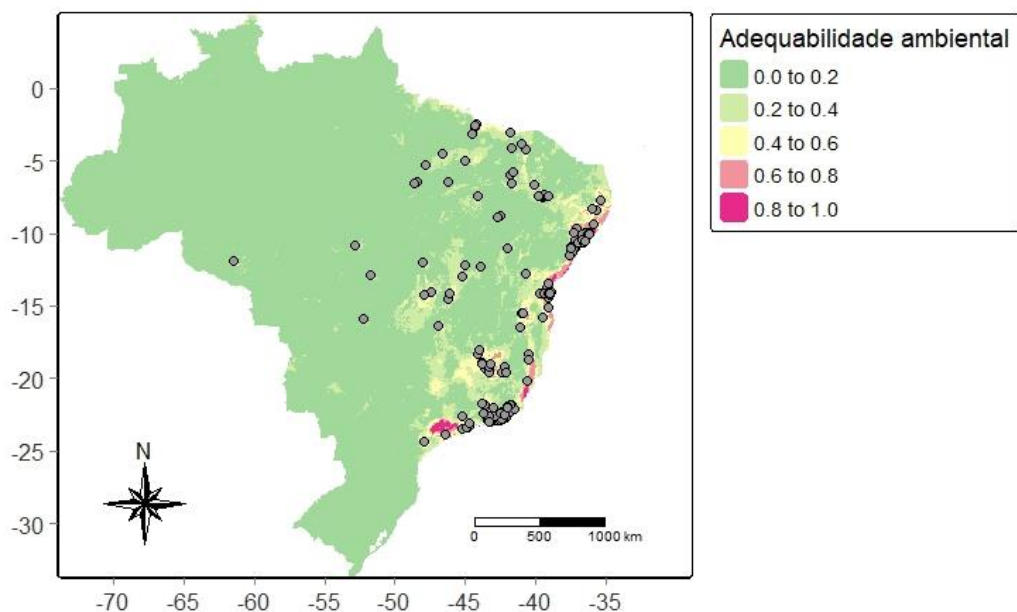
Figura 16. Curva ROC gerada pelo algoritmo Random Forest para *Swartzia flaemingii* Raddi.



Fonte: autoral, 2024.

O mapa revelou áreas de alta adequabilidade ambiental no bioma Mata Atlântica, com tons de verde para regiões altamente favoráveis (valores superiores a 0,6) e tons de rosa claro para áreas de baixa adequabilidade (valores inferiores a 0,3). A espécie está fortemente associada às áreas litorâneas e infralitorâneas da Mata Atlântica, abrangendo os estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, onde predominam condições climáticas favoráveis, como alta umidade, temperaturas estáveis e solos ricos (Figura 17).

Figura 17. Distribuição potencial de *Swartzia flaemingii* no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo Random Forest.



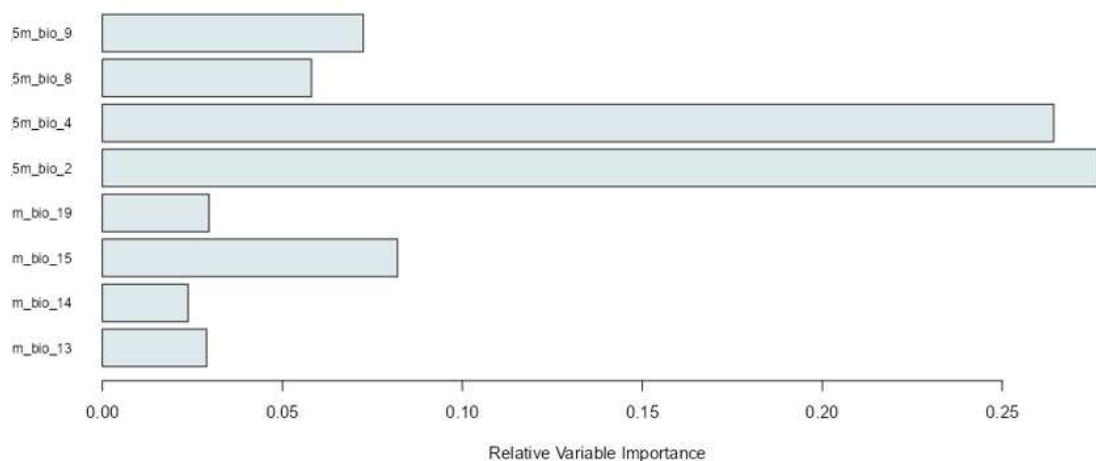
Fonte: autoral, 2024.

Os pontos de ocorrência da espécie, marcados no mapa como círculos pretos, estão concentrados principalmente em áreas de alta adequabilidade ambiental. Isso reforça a relação de *S. flaemingii* com ambientes que possuem microclimas estáveis, características típicas de remanescentes florestais bem preservados. Por outro lado, áreas de baixa adequabilidade, localizadas nas bordas do bioma ou em regiões mais degradadas, indicam que a espécie enfrenta limitações em habitats onde as condições climáticas ou ambientais não são propícias.

O uso do algoritmo Random Forest permitiu identificar padrões complexos que influenciam a distribuição da espécie, destacando variáveis climáticas, como a amplitude térmica e sazonalidade, como fatores determinantes. Essas variáveis explicam a presença da espécie em ambientes úmidos e relativamente estáveis ao longo do ano, características essenciais para seu desenvolvimento.

A análise da importância relativa das variáveis bioclimáticas com o algoritmo Random Forest para a espécie *Swartzia flaemingii* no bioma Mata Atlântica destaca fatores cruciais que influenciam sua distribuição geográfica. O gráfico apresentado evidencia diferenças na contribuição das variáveis para o modelo, com algumas emergindo como determinantes e outras tendo influência mais marginal. As variáveis bioclimáticas mais destacadas foram variação diurna da temperatura média (bio_2) e sazonalidade da temperatura (bio_4), indicando que a espécie é altamente sensível a oscilações térmicas e reforçando a relevância de condições climáticas estáveis para sua sobrevivência (Figura 18).

Figura 18. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de *Swartzia flaemingii* pelo algoritmo Random Forest.



Fonte: autoral, 2024.

Flutuações térmicas sazonais têm um impacto direto na adequação do habitat da espécie, possivelmente influenciando aspectos como fenologia, germinação e adaptação aos microclimas do bioma. A *Swartzia flaemingii* é menos dependente de variações nos regimes pluviométricos, atribuída a sua capacidade de tolerar um intervalo relativamente amplo de condições hídricas. Algumas características, embora presentes no ambiente, não influenciam diretamente os padrões de ocorrência da espécie.

O uso do Random Forest é particularmente eficaz nesse contexto, pois o algoritmo é robusto na identificação de padrões complexos e não lineares entre variáveis. Além disso, ele permite avaliar a interação entre diferentes fatores climáticos, o que é essencial em biomas como a Mata Atlântica, que possui uma alta heterogeneidade ambiental. A análise demonstra que, enquanto as variáveis relacionadas à temperatura dominam o modelo, aquelas associadas à precipitação têm menor relevância. Essa observação é consistente com estudos que mostram que espécies arbóreas tropicais, como a *S. flaemingii*, frequentemente apresentam maior

sensibilidade a fatores térmicos, especialmente em ambientes onde os regimes hídricos são relativamente estáveis ao longo do ano.

Esses resultados têm implicações importantes para a conservação da espécie. As variáveis mais importantes devem ser priorizadas em análises de mudanças climáticas, pois alterações nos padrões de temperatura podem impactar severamente na distribuição.

Estratégias de conservação e manejo devem considerar os efeitos potenciais do clima global, especialmente em áreas da Mata Atlântica com alta variabilidade térmica. Áreas prioritárias para a proteção devem incluir regiões que mantenham estabilidade climática, garantindo a preservação de habitats adequados para a *S. flaemingii*. O modelo Random Forest reforça a necessidade de monitorar as variáveis climáticas mais relevantes, contribuindo para uma abordagem baseada em dados científicos no planejamento de conservação da biodiversidade da Mata Atlântica.

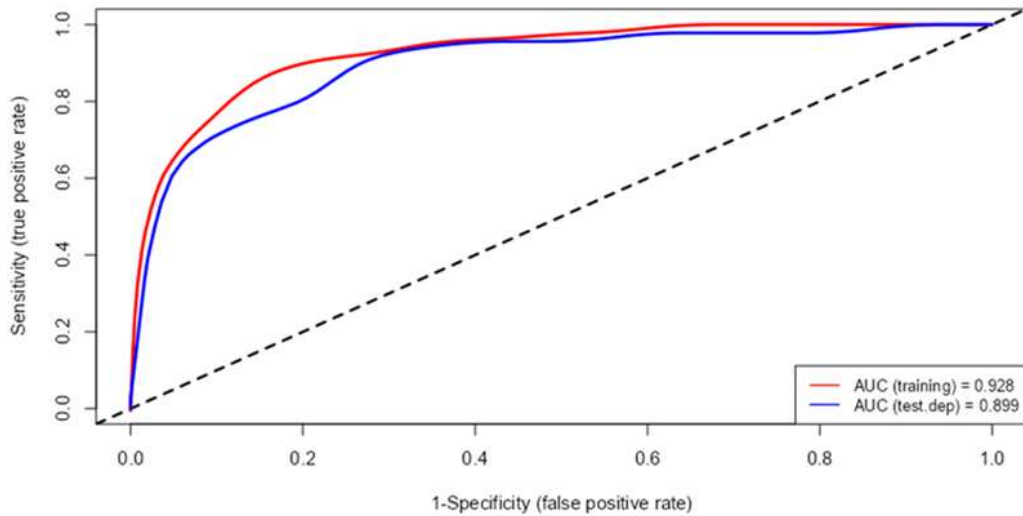
4.5 Modelo gerado pelo algoritmo MaxEnt para *S. flaemingii*

A aplicação do MaxEnt (do inglês *Maximum Entropy Modeling*) demonstrou ser uma ferramenta eficiente para estimar a distribuição geográfica potencial de espécies a partir de dados de presença, baseando-se no princípio da máxima entropia. Este princípio indica que a melhor aproximação para uma distribuição de probabilidades desconhecida é aquela que satisfaz as restrições impostas pelos dados disponíveis (Phillips, 2008).

Os valores de AUC indicam a capacidade de um modelo de aprendizado de máquina em distinguir entre classes. No caso do modelo MaxEnt, o valor de 0,928 para a AUC no conjunto de treinamento sugere um desempenho excelente, evidenciando que o modelo foi eficaz em aprender as características dos dados durante o treinamento. A AUC varia entre 0 e 1, e um valor próximo de 1 indica uma boa separação entre as classes.

No entanto, o valor da AUC em 0,899 no conjunto de teste, embora ainda muito bom, apresenta uma leve diminuição em relação ao valor obtido nos dados de treinamento. Essa diferença pode sugerir um pequeno *overfitting*, ou seja, o modelo pode ter-se ajustado muito bem aos dados de treinamento, mas sua capacidade de generalização para dados não vistos foi ligeiramente afetada. Mesmo assim, com AUC superior a 0,8, o modelo ainda está realizando boas predições nos dados de teste, o que é um indicativo de boa performance (Figura 19).

Figura 19. Curva ROC gerada pelo algoritmo MaxEnt para *Swartzia flaemingii* Raddi.



Fonte: autoral, 2024.

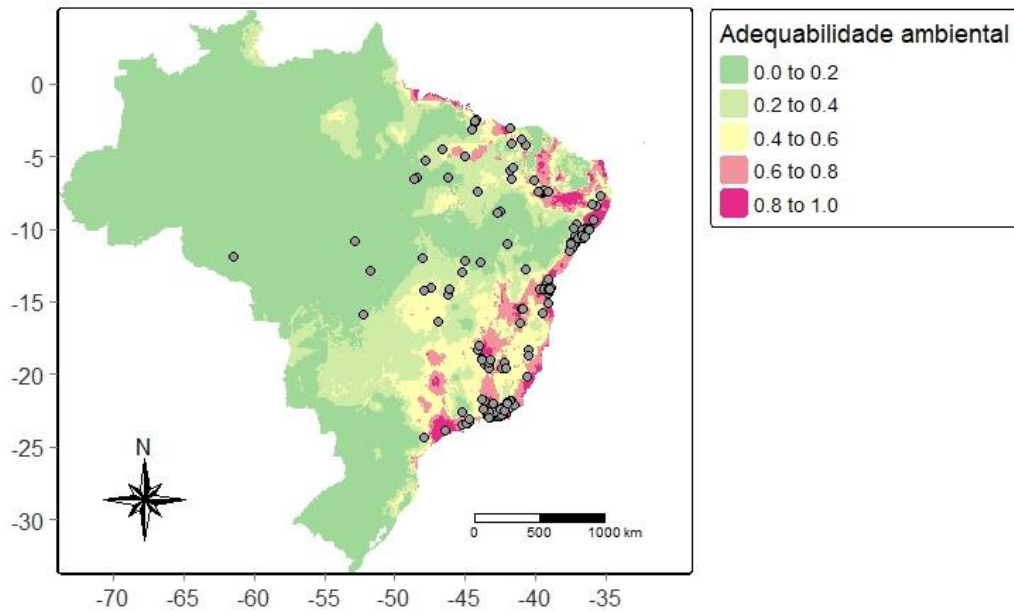
A interpretação da AUC corresponde à probabilidade do modelo classificar corretamente um local de presença escolhido aleatoriamente em comparação a um local qualquer da paisagem (Merow *et al.*, 2014). Os valores de AUC podem ser utilizados como indicadores da qualidade de um modelo, conforme descrito por Metz (1986). A classificação segue os seguintes intervalos: AUC entre 0,90 e 1,0 é considerado excelente, indicando um modelo altamente preciso; entre 0,80 e 0,90 é avaliado como bom; valores entre 0,70 e 0,80 são considerados médios, sendo aceitos para publicação se superiores a 0,75; AUC entre 0,60 e 0,70 é classificado como ruim, e entre 0,50 e 0,60 como muito ruim, representando desempenho próximo ao aleatório.

Em termos de avaliação do modelo, uma AUC acima de 0,9, como observada no treinamento, é considerada excelente em muitos contextos, incluindo a modelagem de nicho ecológico, para a qual o MaxEnt é frequentemente utilizado. A leve diferença entre os valores de AUC pode ser resolvida com técnicas de regularização ou validação cruzada para aprimorar ainda mais a capacidade de generalização do modelo. No geral, os resultados sugerem que o modelo MaxEnt tem boa capacidade preditiva e é adequado para os dados analisados.

O mapa revelou padrões claros de adequabilidade ambiental para a espécie no Brasil, com foco no bioma Mata Atlântica. As áreas de maior adequabilidade, representadas em tons de verde escuro e próximos de 0,8 na escala de cores, indicam os estados com maior ocorrência da espécie. Entre esses, destacam-se os estados da Bahia e Espírito Santo, que apresentam uma alta concentração de pontos de ocorrência (círculos pretos), refletindo a preferência da espécie por essas regiões com condições ambientais ideais. Por outro lado, as áreas com menor

adequabilidade, mostradas em tons mais claros como bege ou branco (valores próximos de 0,2), correspondem aos estados onde a espécie tem uma ocorrência mais restrita. Minas Gerais, por exemplo, aparece como uma área de baixa adequabilidade, o que sugere que a espécie não é comumente encontrada nesse estado, provavelmente devido a condições ambientais menos favoráveis para sua sobrevivência (Figura 20).

Figura 20. Distribuição potencial de *Swartzia flaemingii* no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo MaxEnt.

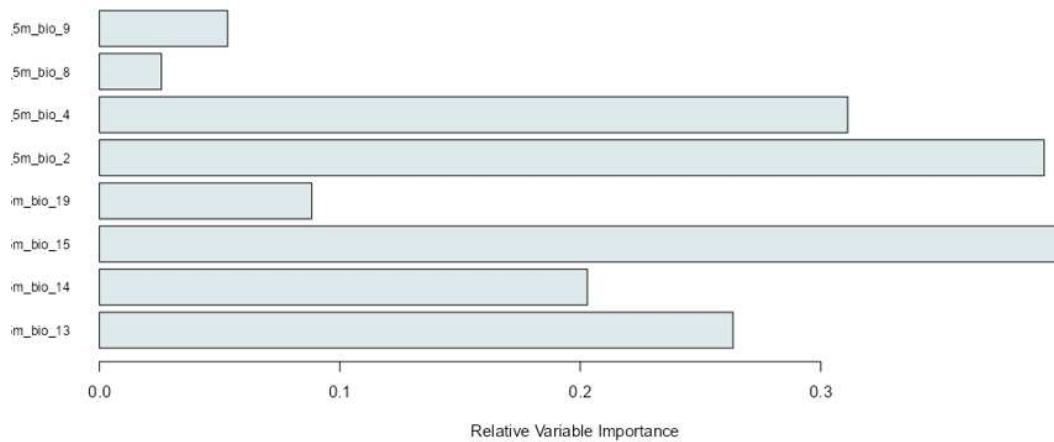


Fonte: autoral, 2024.

Contudo, os estados com menor ocorrência e adequabilidade incluem regiões mais afastadas do núcleo do bioma Mata Atlântica, como o Rio Grande do Sul e o interior de estados do nordeste, como o Ceará e o Piauí. Nessas áreas, predominam tons claros no mapa (valores próximos de 0,2), indicando que as condições ambientais são menos favoráveis para a espécie, e há poucos ou nenhum registro de ocorrência. Esses dados indicam que, enquanto a espécie tem uma forte presença no leste e sudeste do Brasil, sua distribuição é limitada em algumas áreas devido às características ambientais específicas necessárias para seu crescimento e desenvolvimento.

Na distribuição da espécie *Swartzia flaemingii* pelo modelo MaxEnt, as variáveis sazonalidade da precipitação (bio_15) e a variação diurna da temperatura média (bio_2) foram mais relevantes, seguidas da sazonalidade da temperatura (bio_4), precipitação do trimestre mais chuvoso (bio_13) e precipitação anual mínima (bio_14) (Figura 21). A espécie está fortemente associada a ambientes com padrões de específicos de distribuição de chuvas ao longo do ano.

Figura 21. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de *Swartzia flaemingii* pelo algoritmo MaxEnt.



Fonte: autoral, 2024.

A variabilidade na precipitação é um fator crucial, pois regula a temperatura e influencia a disponibilidade de água no solo, o ciclo reprodutivo da planta e sua sobrevivência. Uma alta sazonalidade pode criar condições adversas para espécies menos tolerantes às flutuações hídricas e térmicas, tornando áreas com padrões de precipitação bem distribuída e temperatura amena mais adequadas para a espécie (Mansano; Tozzi, 1999).

A sazonalidade da precipitação reflete a capacidade do bioma Mata Atlântica de sustentar espécies adaptadas a diferentes regimes climáticos, desde regiões mais úmidas até áreas com maior variação nas chuvas. Para *Swartzia flaemingii*, compreender o impacto dessa variável é fundamental para delinear estratégias de conservação, especialmente em um bioma que sofre pressões significativas devido ao desmatamento e mudanças climáticas (Moreno; Nascimento, Kurtz, 2003).

Portanto, o modelo MaxEnt evidencia que a sazonalidade da precipitação é um fator determinante na distribuição potencial da espécie, complementando a influência de outras variáveis, como a estabilidade térmica diária e a precipitação mínima, na definição de habitats ideais (Grassberger; Reiter, 2002; Grassberger; Frank, 2003).

4.6 Distribuição e previsão de *Swartzia langsdorffii*

Na modelagem da distribuição da espécie *S. langsdorffii* Raddi, o Random Forest (AUC = 0,97; TSS = 0,85) teve desempenho superior com alta capacidade preditiva, pela maior

precisão e eficiência, seguido do MaxEnt (AUC = 0,94; TSS = 0,76) também com métricas elevadas, reforçando a aplicabilidade de ambos em estudos ecológicos (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de AUC e TSS obtidos para a modelagem de nicho ecológico de *Swartzia langsdorffii* Raddi.

Algoritmo	AUC	TSS
Random Forest	0,97	0,85
MaxEnt	0,94	0,76

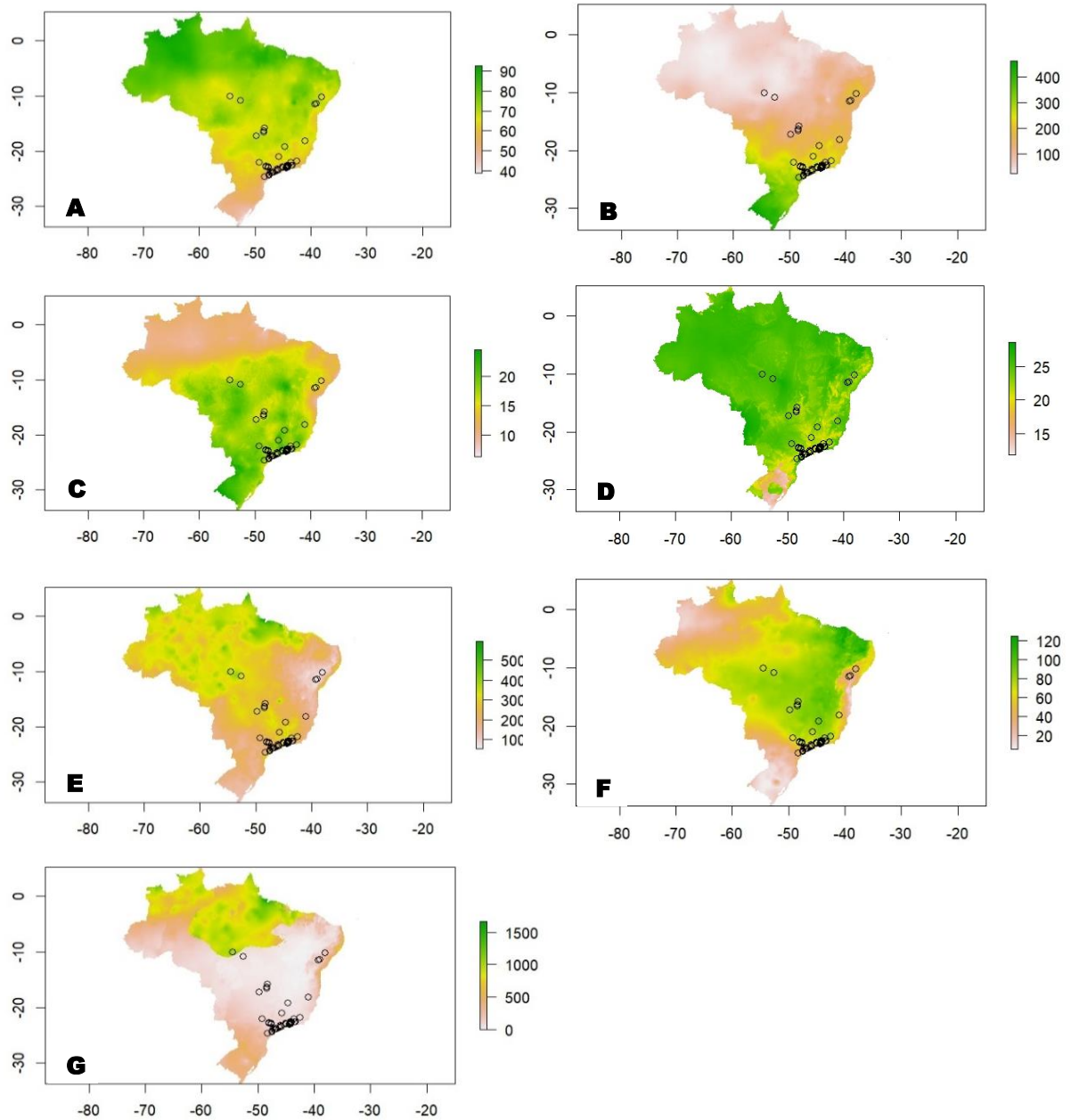
Fonte: autoral, 2024.

Os resultados demonstraram que ambos os modelos são confiáveis para a modelagem do nicho ecológico da espécie, mas o uso do Random Forest pode ser preferível devido à sua maior precisão e melhor desempenho preditivo (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006). O AUC é um indicador da capacidade do modelo de distinguir entre áreas adequadas e inadequadas para a espécie, variando de 0 a 1, onde valores próximos de 1 indicam excelente desempenho. O TSS, por sua vez, mede a habilidade do modelo em prever corretamente as ocorrências da espécie, levando em conta tanto a sensibilidade quanto a especificidade, com valores que variam de -1 a 1, sendo que valores acima de 0,5 indicam um bom desempenho (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006).

Os mapas do Brasil apresentam a distribuição potencial de *Swartzia langsdorffii* com base em variáveis bioclimáticas selecionadas, a partir do cálculo do Fator de Inflação da Variância (VIF), para minimizar a colinearidade entre os dados. As variáveis são essenciais para entender os fatores que influenciam a distribuição da espécie arbórea no bioma Mata Atlântica.

Os pontos de ocorrência da espécie, marcados em preto, se concentram majoritariamente no Sudeste e em algumas áreas do Sul e Centro-Oeste do Brasil. A análise das variáveis bioclimáticas permite compreender como fatores como temperatura, precipitação e sazonalidade afetam sua distribuição. A distribuição geográfica observada nos mapas sugere que *Swartzia langsdorffii* ocorre preferencialmente em regiões com climas mais estáveis, temperaturas moderadas e disponibilidade hídrica relativamente constante ao longo do ano. A análise dessas variáveis bioclimáticas possibilita compreender melhor os fatores ambientais que determinam a ocorrência da espécie e auxilia na previsão de impactos das mudanças climáticas sobre sua distribuição futura (Figura 22).

Figura 22. Mapas de adequabilidade ambiental para *Swartzia langsdorffii* correlacionados às variáveis bioclimáticas: A. bio_3, B. bio_4, C. bio_7, D. bio_8, E. bio_13, F. bio_15, G. bio_19.



Legenda: área verde de maior adequabilidade ambiental, área rosada a branca menos adequada
 Fonte: autoral, 2024.

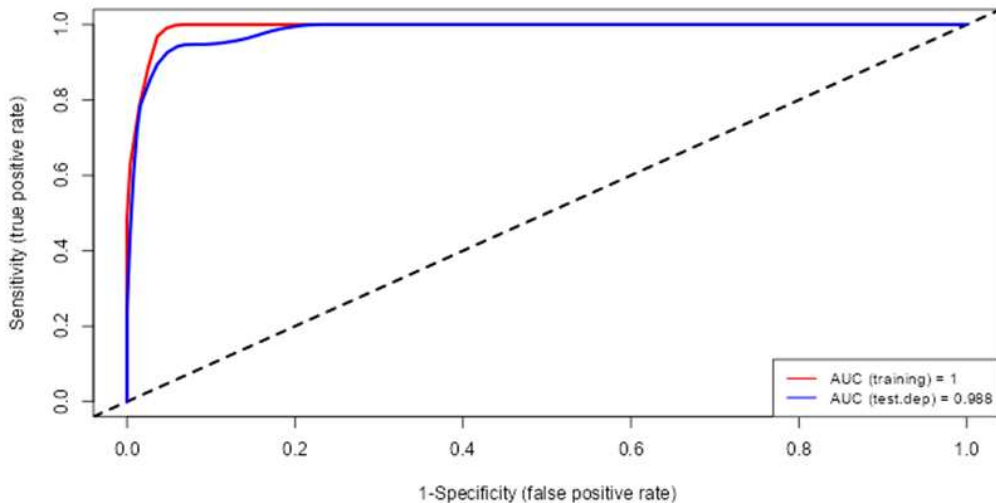
4.7 Modelo gerado pelo algoritmo Random Forest para *S. langsdorffii*

O alto valor de AUC no treinamento indica que o modelo teve um excelente desempenho ao aprender os padrões da distribuição de *Swartzia langsdorffii*. Já o AUC do teste, ligeiramente menor, mas ainda elevado, demonstra que o modelo manteve um ótimo desempenho mesmo quando aplicado a dados independentes, o que sugere boa capacidade de generalização.

A pequena diferença entre os valores de AUC para as etapas de treinamento e teste indica que o modelo não sofreu um ajuste excessivo aos dados originais (*overfitting*), garantindo maior confiabilidade para a predição da distribuição potencial da espécie. Assim, os resultados obtidos reforçam a robustez do modelo e sua aplicabilidade para análises ecológicas e estratégias de conservação de *S. langsdorffii*.

O gráfico ROC apresentado avalia o desempenho do modelo de predição para a espécie utilizando o algoritmo Random Forest. Esse método de aprendizado de máquina combina múltiplas árvores de decisão para melhorar a precisão preditiva e reduzir o risco de *overfitting*. No gráfico, observa-se que a curva vermelha representa o desempenho do modelo durante o treinamento, com um AUC = 1, enquanto a curva azul refere-se ao teste, com um AUC = 0,988. (Figura 23).

Figura 23. Curva ROC gerada pelo algoritmo Random Forest para *Swartzia langsdorffii* Raddi.



Fonte: autoral, 2024.

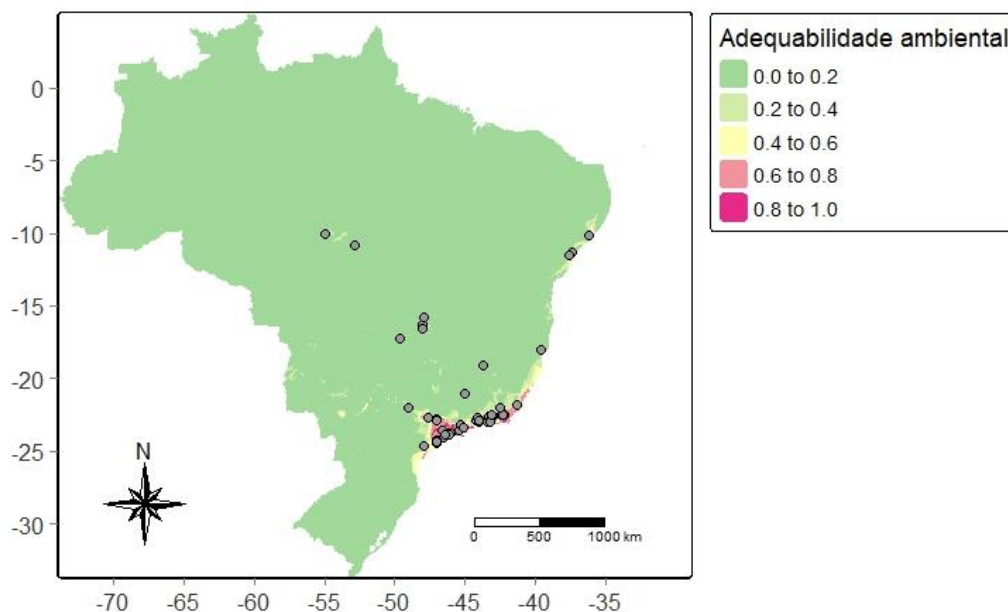
Embora o Random Forest tenha apresentado uma leve redução na acurácia entre treinamento e teste, a diferença mínima entre os valores sugere que o modelo não sofreu *overfitting* severo. Isso reforça sua robustez na modelagem do nicho ecológico de *S. langsdorffii*, sendo uma ferramenta confiável para prever sua distribuição potencial. Os resultados indicam que as áreas identificadas como adequadas para a espécie são altamente consistentes, fornecendo informações valiosas para estudos ecológicos e ações conservacionistas na Mata Atlântica.

O AUC é uma métrica que indica a capacidade do modelo de distinguir entre áreas adequadas e inadequadas para a espécie. O AUC do treinamento igual a 1 sugere que o modelo

conseguiu classificar perfeitamente os pontos de ocorrência e ausência nos dados de treino, o que pode indicar um ajuste excessivo aos dados originais. No entanto, o AUC do teste, que permanece alto (0,988), demonstra que o modelo manteve um excelente desempenho mesmo ao ser aplicado a dados independentes, garantindo uma boa capacidade de generalização.

A análise da distribuição potencial da espécie *S. langsdorffii* no bioma Mata Atlântica, utilizando o algoritmo Random Forest, revela padrões claros de adequabilidade ambiental para a ocorrência da espécie. A partir da escala de cores representada no mapa, que varia de 0,00 a 0,80, é possível identificar as regiões mais propícias e menos favoráveis para a presença da planta (Figura 24).

Figura 24. Distribuição potencial de *Swartzia langsdorffii* no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo Random Forest.



Fonte: autoral, 2024.

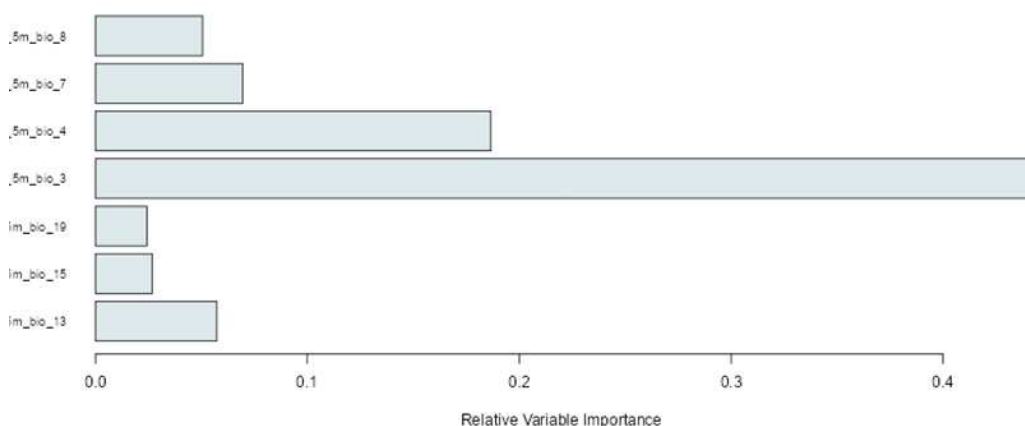
Os estados que apresentam a maior adequabilidade, com valores $>0,80$, são Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo. Nessas regiões, as condições ambientais, como temperatura, umidade, tipo de solo e regime de chuvas, são altamente favoráveis para o desenvolvimento da *S. langsdorffii*. A presença de áreas preservadas de Mata Atlântica, associada a fatores climáticos adequados, favorece significativamente a ocorrência da espécie nesses estados.

Por outro lado, os estados que apresentam menor adequabilidade, com valores $<0,20$, incluem Minas Gerais, Bahia, Mato Grosso do Sul e Goiás. Nessas regiões, a baixa adequabilidade pode estar relacionada a fatores como menor disponibilidade de umidade,

variações climáticas mais acentuadas e tipos de solo menos compatíveis com as exigências ecológicas da espécie. Além disso, o avanço da urbanização e a conversão de áreas naturais em pastagens ou plantações podem contribuir para a menor probabilidade de ocorrência da planta nessas áreas.

De modo geral, a distribuição da *S. langsdorffii* segue um padrão característico na Mata Atlântica, onde áreas litorâneas e de maior umidade oferecem condições mais propícias ao desenvolvimento. Os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo se destacam pela alta adequabilidade; enquanto áreas interiores afastadas da costa apresentam condições menos favoráveis, evidenciando a influência das variáveis bioclimáticas na sua distribuição potencial. A análise das variáveis ambientais no modelo Random Forest destacou a variável isothermalidade (bio_3) com maior importância, seguida da sazonalidade da temperatura (bio_4), reforçando a influência da temperatura para a espécie (Figura 25).

Figura 25. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de *Swartzia langsdorffii* pelo algoritmo Random Forest.



Fonte: autoral, 2024.

A flutuação térmica pode ser fator limitante para a espécie, demonstrando uma tolerância climática específica que influencia sua distribuição e evidenciando que aspectos térmicos são fatores dominantes na modelagem da adequabilidade ambiental. Essa variável está associada à variação sazonal da temperatura, um fator essencial para a adequabilidade ambiental da espécie. Isso sugere que esta espécie pode ser altamente influenciada por oscilações térmicas ao longo do ano, impactando diretamente em sua sobrevivência e crescimento. A relevância dessa variável no modelo indica que alterações climáticas, como o aumento da temperatura média global e mudanças nos padrões de sazonalidade, podem modificar significativamente a distribuição da espécie em seu habitat natural.

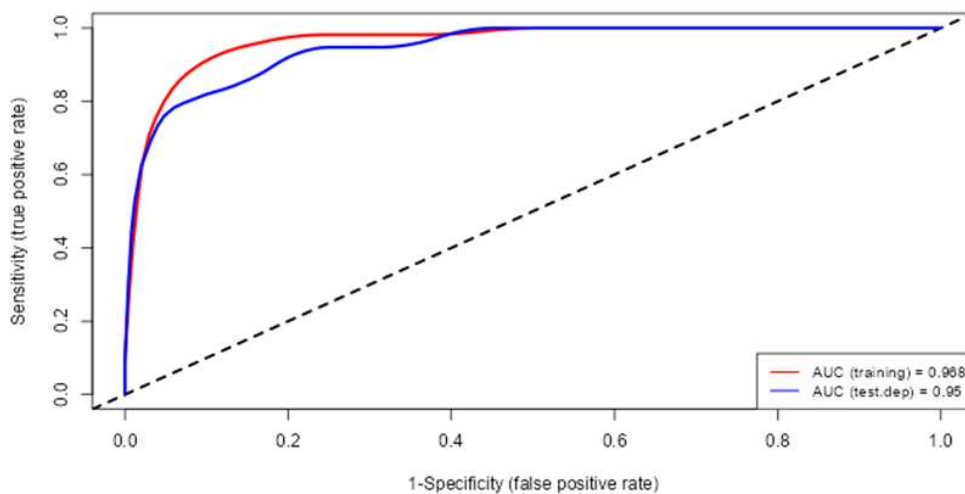
Variáveis relacionadas à precipitação, tanto sua sazonalidade (bio_15) como o trimestre mais frio (bio_19), sem influência no modelo, indicam que a disponibilidade hídrica pode não ser o principal fator limitante para a espécie. Isso sugere que a *S. langsdorffii* pode ser relativamente tolerante a diferentes regimes de precipitação, desde que as condições térmicas permaneçam adequadas, reforçando que a umidade não desempenha um papel expressivo quanto os fatores térmicos na modelagem da espécie.

Esses resultados destacam que a temperatura é o principal fator ecológico para a distribuição da *S. langsdorffii*, tornando a espécie vulnerável a mudanças climáticas que alterem a temperatura ao longo do ano. Ondas de calor mais frequentes ou mudanças na amplitude térmica anual podem ter impactos na viabilidade da espécie em determinadas áreas. Compreender este padrão é essencial para formulação de estratégias de conservação e manejo, visando mitigar possíveis impactos das mudanças climáticas na distribuição da *S. langsdorffii*.

4.8 Modelo gerado pelo algoritmo MaxEnt para *S. langsdorffii*

O gráfico ROC avalia o desempenho do modelo de predição para *Swartzia langsdorffii*, utilizando o algoritmo MaxEnt. Esse modelo baseia-se na maximização da entropia para prever a distribuição potencial da espécie a partir de variáveis ambientais e dados de ocorrência. No gráfico, são exibidas duas curvas ROC: a curva vermelha representa o desempenho do modelo durante o treinamento, com um AUC = 0,968, enquanto a curva azul indica o desempenho no teste, com um AUC = 0,95 (Figura 26).

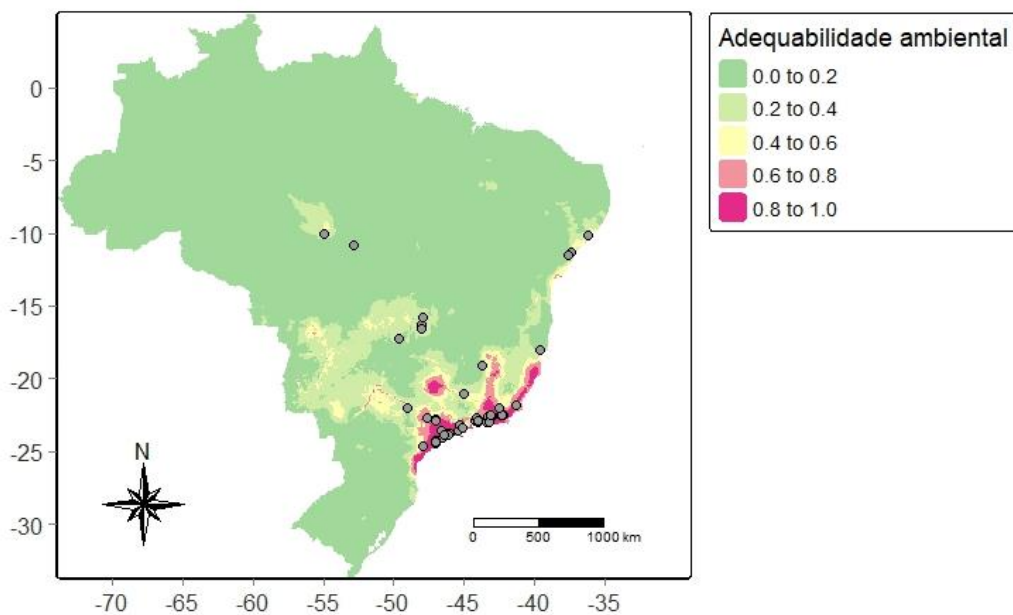
Figura 26. Curva ROC gerada pelo algoritmo MaxEnt para *Swartzia langsdorffii* Raddi.



Fonte: autoral, 2024.

O mapa apresentado representa a adequabilidade ambiental da espécie *S. langsdorffii* no Brasil, conforme modelagem gerada pelo algoritmo MaxEnt. A barra de adequabilidade ambiental, localizada à direita da figura, varia de 0,20 (baixa adequabilidade, representada pela cor roxa) a 0,80 (alta adequabilidade, representada pela cor amarela), permitindo identificar as áreas mais propícias para a ocorrência da espécie (Figura 27).

Figura 27. Distribuição potencial de *Swartzia langsdorffii* no bioma Mata Atlântica pelo algoritmo MaxEnt.



Fonte: autoral, 2024.

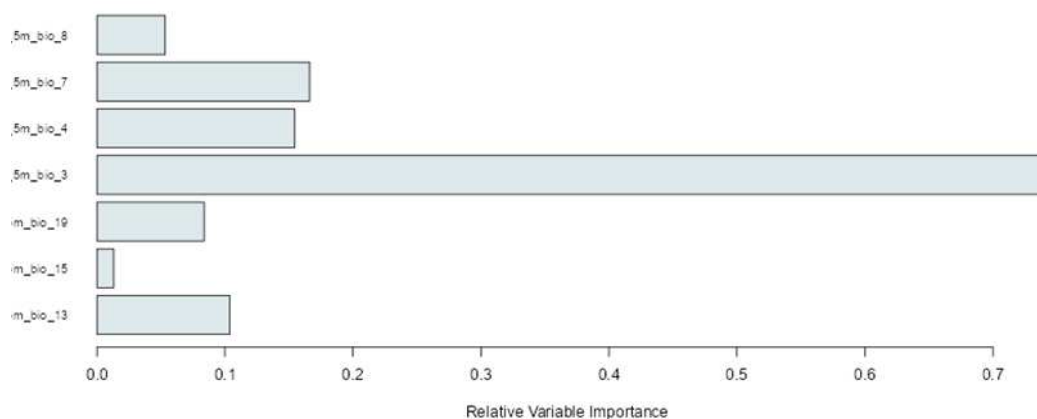
A análise da adequabilidade ambiental para a *S. langsdorffii* indica que as áreas de maior propensão à espécie estão concentradas principalmente no litoral da Região Sudeste, abrangendo os estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, São Paulo e partes de Minas Gerais, onde os valores de adequabilidade ultrapassam 0,60 a 0,80, conforme indicado pelos tons amarelo-esverdeados na imagem. Esses estados oferecem um clima favorável, com altos índices de umidade e temperaturas moderadas, além de solos compatíveis com o crescimento da espécie. Algumas áreas isoladas do sul da Bahia também exibem níveis de adequabilidade superiores a 0,40. Sugerindo possíveis conexões ecológicas entre o Nordeste e o Sudeste.

Em contraste, as regiões menos propícias para a espécie correspondem ao interior do Brasil, especialmente nos estados como Amazonas, Acre, Rondônia e Pará, onde os valores de adequabilidade permanecem abaixo de 0,20. Fatores como altos índices de precipitação combinados com solos menos adequados podem restringir a ocorrência da *S. langsdorffii* nesses

loais. Além disso, o semiárido nordestino (Piauí, Ceará e partes da Bahia) também apresenta baixíssima adequabilidade, devido ao déficit hídrico e temperaturas elevadas, fatores que dificultam o estabelecimento da espécie. O sul do Brasil, especialmente Rio Grande do Sul e Santa Catarina, também apresenta baixa adequabilidade (abaixo de 0,20), possivelmente devido às temperaturas mais frias e a um regime climático menos compatível com os requerimentos ecológicos da espécie.

A análise da importância relativa das variáveis ambientais utilizadas no algoritmo MaxEnt para a modelagem da distribuição da *S. langsdorffii* revela que algumas variáveis possuem um peso significativamente maior na predição da adequabilidade ambiental da espécie. A variável isothermalidade (bio_3) se destaca como a mais influente no modelo, com uma importância relativa próxima de 70%, sugerindo que a variação sazonal da temperatura desempenha um papel crucial no estabelecimento da espécie (Figura 28).

Figura 28. Importância relativa das variáveis bioclimáticas na distribuição de *Swartzia langsdorffii* pelo algoritmo MaxEnt.



Fonte: autoral, 2024.

A predominância de variáveis ligadas à temperatura e sazonalidade térmica reforça a sensibilidade da *S. langsdorffii* a flutuações climáticas, tornando-a vulnerável a mudanças ambientais, como alterações no regime térmico e secas extremas. A presença de variáveis relacionadas à precipitação sugere um papel complementar da disponibilidade hídrica. Esses resultados são fundamentais para estratégias de conservação e manejo da espécie, indicando que variações climáticas futuras podem impactar significativamente sua distribuição.

4.9 Distribuição real e potencial das duas espécies

A identificação dos padrões de distribuição geográfica de diversos grupos taxonômicos assume uma importância significativa para preencher lacunas do conhecimento sobre a ecofisiologia da espécie e aspectos conservacionistas. Portanto, a previsão de cenários potenciais de ocorrência pode fornecer suporte para a implementação de Unidades de Conservação (UC), a realização de inventários florísticos e pesquisas sobre a dinâmica populacional e os sistemas reprodutivos (Dalapicolla, 2016).

A espécie *S. flaemengii* é endêmica do Brasil e ocorre em vários biomas, sendo considerada uma espécie disjunta, portanto resiliente e bem adaptável, com distribuição desde o nível do mar até 900 metros de altitude nos estados do Pará, Tocantins, Maranhão, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro (Moreno *et al.*, 2003; Vasconcelos, 2006; Mansano *et al.*, 2010). Já a espécie *S. langsdorffii* é endêmica do bioma Mata Atlântica e tem distribuição restrita a uma área muito menor próxima à costa, sendo mais complexa no fluxo espacial e ambientalmente mais exigente por maior umidade, onde os nutrientes do *spray* marinho podem ter papel importante na composição do extrato vegetal. Os compostos fenólicos tóxicos presentes nas sementes inibem a germinação, necessitando dessa alta umidade costeira para a superação da dormência e a fixação da espécie (Swigonska *et al.*, 2014).

A espécie *S. flaemengii* está ocorrendo em diversas áreas potenciais onde os modelos não previram porque eles são gerados com base na adequabilidade e não consideram a síndrome de dispersão antropocórica. Esta observação fora do esperado pode ser explicada por fatores bióticos, difíceis de mensurar e não passíveis de controle, como pontuado por Gianini *et al.* (2012). A resiliência e a adaptabilidade desta espécie decorrem da baixa exigência de umidade e a síndrome de dispersão antropocórica por moradores de diversos estados do Brasil, que usam os frutos e descartam as sementes (diásporas), favorecendo a germinação em condições ambientais adversas e a fixação da planta em áreas onde normalmente não ocorreria porque a espécie se adapta muito bem.

A *S. flaemengii* é muito demandada para uso como lenha e carvão, enquanto a *S. langsdorffii* é requerida para bioprospecção de extratos, fato que pode interferir na disseminação da primeira espécie pela própria população e justificar sua maior distribuição fora do padrão esperado na modelagem (Marqui *et al.*, 2008; CNCFlora, 2012). A degradação ambiental pelo aumento da fragmentação florestal, onde habitam 62% da população brasileira,

também poderá exercer impacto diferenciado sobre a previsão futura de distribuição das duas espécies no Brasil.

A robustez dos modelos foi atestada pelos índices obtidos para os testes e as amostras comparando, respectivamente, quatro e dois algoritmos para a modelagem das duas espécies, selecionadas pela importância da família Fabaceae no bioma Mata Atlântica e o escasso conhecimento sobre sua distribuição no Brasil.

5. Conclusões

Os modelos indicaram alta adequabilidade ambiental para as espécies *Swartzia flamingii* e *Swartzia langsdorffii* em regiões de elevada precipitação e clima tropical, características típicas de ambientes florestais, ressaltando a importância da preservação do gênero *Swartzia* para a conservação do bioma Mata Atlântica.

As variáveis ambientais selecionadas justificam a adequabilidade prevista para as espécies, evidenciando a utilidade da modelagem de nicho ecológico e da distribuição de espécies como ferramentas estratégicas para a conservação da biodiversidade. Esta abordagem contribui para a proteção das espécies e auxilia na seleção de áreas para a restauração de ecossistemas e no entendimento dos padrões de distribuição das espécies nos biomas.

Para a espécie *Swartzia flamingii*, os modelos preditivos MaxEnt (AUC = 0,91; TSS = 0,72) e Random Forest (AUC = 0,91; TSS = 0,66) demonstraram desempenho robusto, com métricas expressivas de alta acurácia e eficiência. Ambos os modelos foram validados com sucesso, reforçando a confiabilidade dos resultados e confirmando sua relevância em aplicações práticas. O modelo GLM (AUC = 0,82; TSS = 0,57) apresentou desempenho satisfatório, diferente do modelo BioClim (AUC = 0,67; TSS = 0,32) menos eficiente e com limitação de sua aplicabilidade em análises mais complexas.

Para a espécie *Swartzia langsdorffii*, os modelos preditivos MaxEnt (AUC = 0,94; TSS = 0,76) e Random Forest (AUC = 0,97; TSS = 0,85) demonstraram um desempenho excepcional na análise de adequabilidade ambiental. Os valores refletem a robustez do modelo e sua eficiência na discriminação de padrões ambientais relevantes para a ocorrência da espécie.

O MaxEnt, baseado no princípio da máxima entropia, é amplamente utilizado na modelagem de nicho ecológico, por sua capacidade de trabalhar com pequenas amostras e variáveis contínuas. Este modelo também demonstrou alta eficiência na previsão da distribuição potencial das espécies em estudos de biogeografia e conservação, a partir de um número

limitado de registros de ocorrência. Sua precisão na modelagem de *S. langsdorffii* reforça sua aplicabilidade na identificação de áreas prioritárias para conservação, especialmente em cenários onde a quantidade de dados disponíveis é restrita.

A superioridade do Random Forest pode estar associada à sua abordagem baseada em árvores de decisão, que permite capturar relações complexas entre variáveis ambientais e a ocorrência da espécie, reduzindo o risco de sobreajuste com o uso de múltiplas árvores. Esse modelo é particularmente útil para lidar com grandes volumes de dados e variáveis heterogêneas, como fatores climáticos e edáficos.

Os modelos mais avançados e atualizados em previsões requerem o monitoramento de variáveis climáticas mais relevantes, contribuindo para uma abordagem baseada em dados científicos no planejamento de conservação da biodiversidade da Mata Atlântica. Uma modelagem mais precisa requer um maior esforço amostral para aumentar a representatividade das coletas de dados e aprimorar as inferências ecológicas para cada espécie nas diferentes fitofisionomias do bioma.

Apesar da importância das duas espécies, os estudos relacionados a sua distribuição geográfica na Mata Atlântica ainda são escassos, o que torna este trabalho pioneiro na abordagem metodológica adotada. Portanto, recomenda-se a realização de mais esforços amostrais nas diferentes fitofisionomias do bioma, visando aumentar a representatividade das coletas e aprimorar as inferências ecológicas em uma modelagem mais precisa, em novos estudos para ampliar o conhecimento sobre a distribuição geográfica de outras espécies do gênero *Swartzia*.

Referências

ACEVEDO-RODRÍGUEZ, P. Distributional patterns in Brazilian *Serjania* (Sapindaceae). *Acta Botanica Brasilica*, v. 4, n. 1, p. 69-82, 1990.

ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS): Assessing the accuracy of distribution models. *Journal of Applied Ecology*, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006.

ANDERSON, R. P.; LEW, D.; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, v. 162, n. 3, p. 211-232, 2003.

AQUINO, A. R. L. D.; CAJAZEIRA, J. P. Manejo e controle de plantas daninhas no cultivo do melão. *Circular Técnica online*, v. 28, p. 1-8, 2008.

ARAÚJO, M. B.; WHITTAKER, R. J.; LADLE, R. J.; ERHARD, M. Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. **Global ecology and Biogeography**, v. 14, n. 6, p. 529-538, 2005.

AUSTIN, M. P. Modelling the environmental niche of plants: implications for plant community response to elevated CO₂ levels. **Australian Journal of Botany**, v. 40, p. 615-30, 1992.

BAART, I. A. B.; GSCHÖPF, C. C.; BLASCHKE, A. P. C.; PREINER, S. A. B.; THOMAS, T. A. B. H. **Prediction of potential macrophyte development in response to restoration measure**, 2010.

BARNEBY, R. C. Centennial beans: a miscellany of American Fabales. **Brittonia**, v. 44, p. 224-239, 1992.

BARNEBY, R.C.; HEALD, S. V. Fabaceae. *In*: Guide to the vascular plants of central French Guiana. Part 2. Dicotyledons. MORI, S. A.; CREMERS, G.; GRACIE, C. A.; GRANVILLE, J.J.; HEALD, S. V.; HOFF, M.; MITCHELL, J. D. (Eds.) **Memories of the New York Botanical Garden**, v. 76, n. 2, p. 298-319, 2002.

BARRETO, F. C. C. **Modelagem de distribuição potencial de espécies como ferramenta para a conservação: seleção e avaliação de algoritmos e aplicação com *Heliconius nattereri* Felder, 1865 (Nymphalidae: Heliconiinae)**. 68 f. Tese (Doutorado em Ciência Entomológica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

BARROS, F. Diversidade taxonômica e distribuição geográfica das Orchidaceae brasileiras. **Acta Botanica Brasilica**, v. 4, n. 1, p. 177-187, 1990.

BECK, J.; BÖLLER, M.; ERHARDT, A.; SCHWANGHART, W. Spatial bias in the GBIF database and its effect on modeling species' geographic distributions. **Ecol. Inform.**, v. 19, p. 10-15, 2014. 10.1016/j.ecoinf.2013. 11.002.

BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C.; LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology letters**, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012.

BJORHOLM, S.; SVENNING, J. C.; BAKER, W. J.; SKOV, F.; BALSLEV, H. Historical legacies in the geographical diversity patterns of New World palm (Arecaceae) subfamilies. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 151, n. 1, p. 113-125, 2006.

BRANCALION, P. H.; GARCIA, L. C.; LOYOLA, R.; RODRIGUES, R. R.; PILLAR, V. D.; LEWINSOHN, T. M. Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. **Natureza & Conservação**, v.14, p.1-16, 2016.

BREIMAN, L. S. **Machine Learning**, [S. l.], v.45, n. 1, p. 5-32, 2001.

BRITEZ, R. M.; CASTELLA, P. R.; PIRES, L. A. Estratégia de conservação da floresta com araucária para o Estado do Paraná. In: MILANO, M. S.; THEULEN, V. (Org.). **Anais do Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação**, Campo Grande, cap. 16, p. 845, 2000.

BROWN, J. H.; LOMOLINO M. V. **Biogeografia**. 2^a. ed. Trad: Iulo Feliciano Afonso. Ribeirão Preto: FUNPEC Editora, 2006.

BUREL, F.; AUDRY, J. Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes: The role of land use systems at various scales in time. **Ecological Indicators**, v. 5, n. 4, p. 305-313, 2005.

BUSBY, J. R. BioClim – a bioclimate analysis and prediction system. *In*: MARGULES, R.; AUSTIN, M.P. (eds.) **Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis**. Canberra: CSIRO, p. 64-68. 1991.

CAMARA, I. G. **Brief history of conservation in the Atlantic Forest**. *In*: GALINDO-LEAL C.; CÂMARA, L. G. (Ed.). *The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*. Washington, DC: Island Press, p. 31-42, 2003.

CAMPBELL, B. D.; MITCHELL, N. D.; FIELD, T. R. **Climate profiles of temperature C3 and subtropical C4 species in New Zealand pastures**. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 42, p. 223-233, 1999.

CARLUCCI, M. B.; MARCILIO-SILVA, V.; TOREZAN, J. M. **The Southern Atlantic Forest: Use, Degradation, and Perspectives for Conservation**. *In*: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (Eds.) *The Atlantic Forest*. Springer, Cham., p. 91-111, 2021.

CARPENTER, P. J.; SCANLAN, T. K.; SIMONS, J. P.; LOBEL, M. A test of the sport commitment model using structural equation modeling. **Journal of Sport and exercise Psychology**, v. 15, n. 2, p. 119-133, 1993.

CHAVES, E. M. F.; MORAIS, R. F.; BARROS, R. F. M. Práticas alimentares populares com uso de plantas silvestres: potencial para minimizar a insegurança nutricional no semiárido do Nordeste do Brasil. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 2, p. 287-313, 2017.

CIPOLLINI, M. L.; LEVEY, D. J. Secondary metabolites of fleshy vertebrate-dispersed fruits: adaptive hypotheses and implications for seed dispersal. **The American Naturalist**, v. 50, p. 346-372, 1997.

CNCFlora. *Swartzia flaemingii* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profíle/Swartzia_flaemingii>. Acesso em: 18 mar. 2024.

COLPAS, F. T.; OLIVEIRA, D. M. T. Structure and ontogeny of *Swartzia langsdorffii* (Leguminosae) pericarp. **Nordic Journal of Botany**, v. 22, p. 313- 323, 2003.

CONSTABEL, C. P.; YIP, L.; PATTON, J. J.; CHRISTOPHER, M. E. Polyphenol oxidase from hybrid poplar. Cloning and expression in response to wounding and herbivory. **Plant Physiology**, Minneapolis v. 124, p.285-295, 2000.

COSTA, J.; PETERSON, A. T.; BEARD, C. B. Ecologic niche modeling and differentiation of populations of *Triatoma brasiliensis*, 1911, the most important Chagas' disease vector in

northeastern Brazil (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 67, p. 516 – 520, 2002.

COUVREUR, T. L. P.; FOREST, F.; BAKER, W. J. Origin and global diversification patterns of tropical rain forests: inferences from a complete genus-level phylogeny of palms. **BMC biology**, v. 9, n. 1, p. 44, 2011.

COWAN, R. S. Studies of Tropical American Leguminosae-VII. **Proceedings of the Biological Society of Washington**, v. 86, p. 447-460, 1973.

COWAN, R. S. Studies in tropical American Leguminosae-IX. **Brittonia**, v. 37, p. 291–304, 1985.

COWAN, R. S. **Swartzieae**. In: POHILL R. M.; RAVEN, P. H. (Eds.) *Advances in Legume Systematics 1*. Kew: Royal Botanic Gardens, p. 209-212, 1981.

COWAN, R. S. *Swartzia* (Leguminosae, Caesalpinioideae, Swartzieae). **Flora Neotropica Monograph**, v. 1, p. 1-228, 1967.

CUELLO, A. N. L.; COWAN, R. S. *Swartzia*. In: Berry PE, YATSKIEVYCH, K.; HOLST, B. K. eds. *Flora of the Venezuelan Guayana 5*. St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, p. 394–415, 1999.

CUSTÓDIO, I. A.; GUEDES-BRUNI, R. R. Leguminosas Arbóreas da Flora Brasiliensis e Região de Tinguá - Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 591-593, 2007.

DALAPICOLLA, J. **Tutorial de modelos de distribuição de espécie: guia teórico**. Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. Disponível em: < <https://blog.ufes.br/lamab/files/2016/07/TUTORIAL-DE-MODELOS-DEDISTRIBUI%C3%84%C2%ABO-GUIA-TE%E2%80%A1RICO.pdf>> Acesso em: 12 jan. 2025.

DAN, M. L.; BRAGA, J. M. A.; NASCIMENTO, M. T. Estrutura da comunidade arbórea de fragmentos de floresta estacional semidecidual na bacia hidrográfica do rio São Domingos, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 61, n. 4, p. 749-766, 2010.

DEVELEY, P. F.; MARTENSEN, A. C. As aves da Reserva Florestal do Morro Grande (Cotia, SP). **Biota Neotropica**, Campinas, v. 6, n. 2, 2006. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v6n2/pt/abstract?article+bn00706022006>>

DIEGUES, A. C. **O mito moderno da natureza intocada**. 6ª. ed. São Paulo: Hucitec, 1996.

DOMINGOS, C. S. **Geoprocessamento na escolha de sistemas ambientais para aterros sanitários na Região Metropolitana de Fortaleza**. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2007.

DORAN, B.; OLSEN, P. **Customizing BioClim to investigate spatial and temporal variations in highly mobile species**. In: *Proceedings of the 6th International Conference on GeoComputation*, University of Queensland, Brisbane, Australia, 2001.

ELITH, J. *et al.* Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v.29, p.129–151, 2006.

FIELDING, A. H.; BELL, J. F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. **Environmental Conservation**, [S. l.], v. 24, n.1, p. 38–49, 1997.

FIGUEIREDO, S. D. M.; VENTICIQUE, E.; FIGUEIREDO, E. O.; FERREIRA, E. J. L. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, p. 167 – 17, 2015.

FLORA DO BRASIL 2020. 2023. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://loradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 6 dez. 2024.

FLORES, A. S.; MIOTTO, S. T. S. Aspectos fitogeográficos das espécies de *Crotalaria* L. (Leguminosae, Faboideae) na região Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 2, p. 245-249, 2005.

FLORES, T. F. **Leaf**. 2022. Disponível em: <https://identify.plantnet.org/the-plant-list/species/Swartzia%20langsдорffii%20Raddi/data#galleries> Acesso em: 11 mar. 2025.

FONSECA, G. A. B.; ALGER, K. N.; PINTO, L. P.; ARAÚJO, M.; CAVALCANTI, R. Corredores de biodiversidade: o Corredor Central da Mata Atlântica. In: PRADO, P. L.; LANDAU, E. C.; MOURA, R. T.; PINTO, L. P. S.; FONSECA, G. A. B.; ALGER, K. (Orgs.). **Corredores ecológicos: uma abordagem integradora de ecossistemas no Brasil**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, p. 47-65, 2004.

FRANÇA, C. P. DOS S.; ALMEIDA, G. S. S. DE; BRITO, G. R. DE. Modeling the geographic distribution of *Mikania micrantha* Kunth. to the Atlantic Forest of Bahia: Modelagem da distribuição geográfica de *Mikania micrantha* Kunth. para a Mata Atlântica da Bahia. **Concilium**, v. 23, n. 22, p. 284-293, 2023.

FRANCIS, G.; KEREM, Z.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. **The biological action of saponins in animal systems: a review**. **British Journal of Nutrition**, v. 88, p. 587-605, 2002.

FRANKLIN, J. **Mapping species distribution. Spatial inference and prediction**. New York, Cambridge, 2009.

FRANKLIN, J. Moving beyond static species distribution models in support of conservation biogeography. **Divers. Distrib.**, v. 16, p. 321–330, 2010.

FREITAS, M. M.; SILVA, L. G. E.; TUPINAMBÁ, M. Domínios geomorfológicos no Parque Estadual dos Três Picos-RJ e sua relação com aspectos geomorfológicos. **Revista Sociedade e Natureza**, v. 29, n. 1, p. 26, 2017.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA; INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Relatório Técnico final: Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica. Período 2017-2018**. São Paulo, 2019.

GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; PARRY, L. W.; PERES, C. A. Predicting the uncertain future of tropical forest species in a data vacuum. **Biotropica**, Washington, DC, v. 39, p. 25-30, 2007.

GATTI, A. **Modelos de nicho, mudanças climáticas e a vulnerabilidade do clado Perissodactyla ao longo do tempo**. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Vitória, ES, 2013.

GBIF – **GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY**. Occurrences. Disponível em: <https://www.gbif.org/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

GIANNINI, T. C.; SIQUEIRA, M. F.; ACOSTA, A. L.; BARRETO, F. C. C.; SARAIVA, A. M.; SANTOS, S. A. DOS. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, p. 733-749, 2012.

GIULIETTI, A. M.; PIRANI, J. R. **Patterns of geographic distribution of some plant species from the Espinhaço range, Minas Gerais and Bahia, Brazil**. In: HEYER, W. R.; VANZOLINI, P. E. (Eds.). Proceedings of a workshop on neotropical distribution patterns. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, p. 39-69, 1988.

GIVNISH, T. F.; BARFUSS, B. V. E.; RIINA, R.; SCHULTE, K.; HORRES, R.; GONSISKA, P. A.; JABAILY, R. S.; CRAYN, D. M.; SMITH, J. A. C.; WINTER, K.; BROWN, G. K.; EVANS, T. M.; HOLST, B. K.; LUTHER, H.; TILL, W.; ZIZKA, G.; BERRY, P. E.; SYTSMAN, K. J. Adaptive radiation, correlated and contingent evolution, and net species diversification in Bromeliaceae. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 71, p. 55-78, 2014.

GRASSBERGER, M.; FRANK, C. Temperature-related development of the parasitoid wasp *Nasonia vitripennis* as forensic indicator. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 17, n. 3, p. 257-262, 2003.

GRASSBERGER, M.; REITER, C. Effect of temperature on development of the forensically important holarctic blow fly *Protophormia terraenovae* (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Calliphoridae). **Forensic Science International**, v. 128, n. 3, p. 177-182, 2002.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, v. 8, p. 993-1009, 2005.

GUISAN, A.; THUILLER, W.; ZIMMERMANN, N. E. **Habitat suitability and distribution models: with applications in R**. Cambridge University Press, 2017.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, v. 135, p. 147-186, 2000.

GUO, Q.; KELLY, M.; GRAHAM, C. H. Support vector machines for predicting distribution of Sudden Oak Death in California. **Ecological Modelling**, 182, p. 75-90. 2005.

GURALNICK, R. P.; HILL, A. W.; LANE, M. Towards a collaborative, global infrastructure for biodiversity assessment. **Ecol. Lett.**, v. 10, p. 663-672, 2007. 10.1111/j.1461-0248.2007.01063.x.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. Exploring the nature of covariate effects in the proportional hazards model. **Biometrics**, v. 46, n. 4, p. 1005-1016, 1990.

HEILBRON M.; MOHRIAK, W. U.; VALERIANO, C. M.; MILANI, E. J.; ALMEIDA, J.; TUPINAMBÁ, M. From collision to extension: The roots of the southeastern continental margin of Brazil. **American Geophysical Union**. p. 1-32, 2000.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira belt SE Brazil. **Precambrian Research**, v. 125, p. 87-112, 2003.

HIJMANS, R. J.; BARBOSA, M.; GHOSH, A.; MANDEL, A. **Geodata: Download Geographic Data**. 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/geodata/index.html> Acesso em: 31 mar., 2025.

HIRZEL, A.; GUIBAN, A. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. **Ecological Modelling**, v. 157, n. 2-3, p. 331-341, 2002.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2a. ed., Rio de Janeiro, 2012.

ICNT. Disponível em: <http://inct-bionat.iq.unesp.br/biomas/mata-atlântica/> Acesso em: 19 mar. 2024.

JACKSON, S. T.; OVERPECK, J. T. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. **Paleobiology**, v. 26, p. 194 – 220, 2000.

JACKSON, S. M.; CLARIDGE, A. Climatic modelling of the distribution of the mahogany glider (*Petaurus gracilis*), and the squirrel glider (*P. norfolcensis*). Collingwood: **Australian Journal of Zoology**, v. 24, p. 47-57, 1999.

JAIN, S.; GOEL, S. **Car package in R**. 2023. Disponível em: <https://www.geeksforgeeks.org/car-package-in-r/> Acesso em: 31 mar. 2024.

JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; LOBO, J. M.; HORTAL, J. Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modeling. **Diversity and Distributions**, v. 14, p. 885-890, 2008.

JOLY, C. A.; ASSIS, M. A.; BERNACCI, L. C.; TAMASHIRO, J. Y.; CAMPOS, M. C. R.; GOMES, J. A. M. A.; LACERDA, M. S.; SANTOS, F. A. M.; PEDRONI, F.; PEREIRA, L. S.; PADGURSCHI, M. C. G.; PRATA, E. M. B.; RAMOS, E.; TORRES, R. B.; ROCHELLE, A.; MARTINS, F. R.; ALVES, B. F.; VIEIRA, S. A.; MARTINELLI, L. A.; CAMARGO, P. B.; AIDAR, M. P. M.; EISENLOHR, P. V.; SIMÕES, E.; VILLANI, J. P.; BELINELLO, R. Florística e fitossociologia em parcelas permanentes da Mata Atlântica do sudeste do Brasil ao longo de um gradiente altitudinal. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 12, p. 123-145, 2012.

JOLY, C. A.; AIDAR, M. P. M.; KLINK, C. A.; MCGRAPH, D. G.; MOREIRA, A. G.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. C.; OLIVEIRA, A. A.; POTT, A.; SAMPAIO, E. V. S. B.

Evolution of the Brazilian phytogeography classification systems: implications for biodiversity conservation. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 51, p. 331-348, 1999.

JOLY, C. A.; LEITÃO FILHO, H. F.; SILVA, S. M. **O Patrimônio Florístico**. p. 96-128. In: CÂMARA, I.G.; CECCHI, J. C.; SOARES, M. S. M. (Org.). *Mata Atlântica*. Rio de Janeiro: Editora Index e Fundação S.O.S. Mata Atlântica, 1991.

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; AGUIAR, A. P. D.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C. C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B. B. N.; VIEIRA, L. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. London, **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2014

LAURANCE, W. F. Have we overstated the tropical biodiversity crisis? Barking, **Trends in Ecology and Evolution**, v. 22, p. 65-70, 2007.

LIMA H. C.; TOZZI, A. M. G. A.; FORTUNA-PEREZ, A. P. **Fabaceae (Leguminosae) in Plantas da Floresta Atlântica**. In: STEHMANN J. R.; FORZZA, R. C.; SALINO, A., p. 516, 2009.

LIMA, J. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N.; ARAÚJO, F. S. Physiognomy and structure of a seasonal deciduous forest on the Ibiapaba plateau, Ceará, Brazil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 2, p. 379-389, 2011.

LIMA, R. **Flower**. 2008. Disponível em: <https://identify.plantnet.org/the-plant-list/species/Swartzia%20langsdorffii%20Raddi/data#galleries> Acesso em: 11 mar. 2025.

LIMA-RIBEIRO, M. S.; NOGUÉS-BRAVO, D.; TERRIBILE, L. C.; BATRA, P.; DINIZ-FILHO, J. A. F. O clima e o homem estabelecem o local e o tempo da extinção proboscídea no final do Quaternário da América do Sul. **Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.** 392, 546-556, 2013.

LINDENMAYER, D. B.; MACKEY, B.; NIX, H. A. Climatic analyses of the distribution of four commercially important wood production eucalypt trees from southeastern Australia. **Australian Forestry**, v. 59, p. 11-26, 1996.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3a. ed. Nova Odessa: **Plantarum**, 352 p., 2000.

MACIEL, A. S.; BORGES, E. E. L.; BORGES, R. C. G. Determinação da presença de fenóis em sementes de espécies florestais e sua relação com inibidores de germinação. Londrina, **Revista Brasileira de Sementes**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 1992.

MAGALHÃES, A. F.; TOZZI, A. M. G. A.; SANTOS, C. C.; SERRANO, D. R.; ZANOTTI-MAGALHÃES, E. M.; MAGALHÃES, E. G.; MAGALHÃES, L. A. Saponins from *Swartzia langsdorffii*: biological activities. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 98, n. 5, p. 713-718, 2003.

- MANSANO, V. F.; LIMA, J. R. O gênero *Swartzia* Schreb. (Leguminosae, Papilionoideae) no estado do Rio de Janeiro. **Rodriguésia**, v. 58, n. 2, p. 469-483, 2007.
- MANSANO, V. F.; PINTO, R. B.; TORKE, B. M. *Swartzia*. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB023178>), 2012.
- MANSANO, V. F.; SOUZA, A. L. A new *Swartzia* (Leguminosae: Papilionoideae: Swartzieae) species with trimorphic stamens from Amazonian Brazil. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 147, p. 235-238, 2004.
- MANSANO, V. F.; TOZZI, A. M. G. A. *Swartzia* Schreb. (Leguminosae: Papilionoideae: Swartzieae): a taxonomic study of the *Swartzia acutifolia* complex including a new name and a new species from southeastern Brazil. **Kew Bulletin**, v. 56, p. 917-929, 2001.
- MANSANO, V. F.; TOZZI, A. M. G. A. The taxonomy of some Swartzieae (Leguminosae, subfam. Papilionoideae) from southeastern Brazil. **Brittonia**, v. 51, p. 149-158, 1999.
- MARCHIORETTO, M. S.; WINDISCH, P. G.; SIQUEIRA, J. C. Padrões de distribuição geográfica de *Froelichia moench* e *Froelichiella* R.E Fries (Amaranthaceae) no Brasil. **Iheringia, Ser. Botânica**, v. 59, n. 2, p. 149-159, 2004.
- MARTINS, V. F.; CAZOTTO, L.P. D.; SANTOS, F. A. M. DOS. Dispersal spectrum of four forest types along and altitudinal range of Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biota Neotropica**, v. 14, p. 1-22, 2014.
- MARQUI, S. R.; LEMOS, R. B.; SANTOS, L. A.; CASTRO-GAMBOA, I.; CAVALHEIRO, A. J.; BOLZANI, V. S.; SILVA, D. H. S.; SCORZONI, L.; FUSCOALMEIDA, A. M.; MENDES-GIANNINI, M. J. S.; YOUNG, M. C. M.; TORRES, L. M. B. Saponinas antifúngicas de *Swartzia langsdorffii*. **Química Nova**, v. 31, n. 4, p. 828-831, 2008.
- MATHIEU, G.; VERGARA-RODRÍGUEZ, D.; KRÖMER, T.; KARGER, D. N. *Peperomia* (Piperaceae) novelties from Veracruz State, Mexico. **Phytotaxa**, Curitiba, PR, v. 205, n. 4, p. 268-276, 2015.
- MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized linear models**. 1steded. Boca Raton: Chapman; Hall/CRC, 1989.
- MEROW, C.; SMITH, M. J.; EDWARDS, T. C.; GUISAN, A. MCMAHON, S. M.; NORMAND, S.; THUILLER, W.; WUEST, R. O.; ZIMMERMANN, N. E.; ELITH, J. What do we gain from simplicity versus complexity in species distribution models? Copenhagen, **Ecography**, v. 37, n. 12, p. 1267-1281, 2014.
- METZ, C. E. ROC Methodology in radiologic imaging. Philadelphia, **Investigative Radiology**, v. 21, n. 9, p. 720-733, 1986.
- MIRANDA, J. O. F.; MATOS, M. R. B.; ORGE, M. D. R. Aplicação da modelagem de distribuição de espécies (MDE) no bioma Mata Atlântica: uma análise bibliométrica. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 13, n. 2, e1017, 2024.

- MIRANDA, J. O. F.; SANTOS, J. A. DOS; ORGE, M. D. R.; DANTAS, J. A. DA S. Bibliometric Analysis of Ornithophilous Species of Bromeliaceae in the Atlantic Forest. **J. Bioeng., Tech. and Health**, v. 7, Suppl. 1, p. 56-65, 2025.
- MITTERMEIER, R. A.; MYERS, N.; ROBLES GIL, P.; MITTERMEIER, C. C. Hotspots. Agrupación. Sierra Madre: **CEMEX**, 1999.
- MITTERMEIER, R.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. **Conservation Biology**, v.19, p. 601-607, 2005.
- MORELLATO, L. P. C.; HADDAD, C. F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. Special Issue: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, Washington, v. 32, p. 786-792, 2000.
- MORENO, M. R.; NASCIMENTO, M. T.; KURTZ, B. C. Estrutura e Composição Florística do Estrato Arbóreo em Duas Zonas Altitudinais na Mata Atlântica de Encosta da Região do Imbé, RJ. **Acta Botânica Brasilica**, v. 17, n. 3, 2003.
- MORI, S. A.; BOOM, B. M.; CARVALHO, A. M.; SANTOS, T. S. Southern bahian moist forests. **Botanical Review**, v. 49, p. 155-232, 1983.
- MORI, S. A.; BOOM, B. M.; PRANCE, G. T. Distribution of eastern Brazilian costal forest tree species. **Brittonia**, v. 33, p. 233-245, 1981.
- MUNIZ, F. H. Padrões de floração e frutificação de árvores da Amazônia Maranhense. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 617-626, 2008.
- MUÑOZ, M. E. S.; GIOVANNI, R.; SIQUEIRA, M. F.; SUTTON, T.; BREWER, P.; PEREIRA, R. S.; CANHOS, D. A. L.; CANHOS, V. P. OpenModeller: a generic approach to species' potential distribution modelling. **Geoinformatica**, v. 15, p. 111-135, 2009.
- NACIF, P. G. S.; COSTA, O.V.; ARAÚJO, M.; SANTOS, P.S. Complexo de Serras das Lontras e Una, Bahia: elementos naturais e aspectos de sua conservação. **SAVE Brasil**, 2009.
- NAIMI, B.; HAMM, N.; GROEN, T. A.; SKIDMORE, A. K.; TOXOPEUS, A. C. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? **Ecography**, [S.l.], v. 37, n. 2, p. 191–203, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.16000587.2013.00205.x>. Acesso em: 13 jul. 2024
- NAIMI, B.; ARAÚJO, M. B. SDM: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. **Ecography**, [S. l.], v. 39, n.4, 2016.
- NEVES, U. S. **Terrestrial invertebrates associated with litter from the Atlantic Forest in Bahia (Brazil)**. Dissertation (Modeling and Simulation of Biosystems) at Universidade do Estado da Bahia, 65 p., 2023.
- NIX, H. A. **A biogeographic analysis of Australian elapid snakes**. Atlas of elapid snakes of Australia: Australian flora and fauna series 7, p. 4–15. Bureau of Flora and Fauna, Canberra, 1986.

NÓBREGA, C. C.; DE MARCO JR., P. Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 3, p. 491-505, 2011.

OBERHAUSER, K.; PETERSON, A. T. Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, p. 14063-14068, 2003.

OLIVEIRA, R. P.; LONGHI-WAGNER, H. M. **Olyra**. In: WANDERLEY, G. M. L.; SHEPHERD, G. J.; GIULIETTI, A. M.; MARTINS, S. E (Orgs.). Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo. São Paulo: HUCITEC, v. 1, p. 45-47, 2001.

OLIVEIRA-FILHO, A. A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate. **Biotropica**, v. 32, p. 793-810, 2000.

PAMMENTER, N. W.; BERJAK, P. Some thoughts on the evolution and ecology of recalcitrant seeds. **Plant Species Biology**, London, v. 15, p.153-156, 2000.

PEARSON, R. G.; THUILLER, W.; ARAÚJO, M. B.; MARTINEZMEYER, E.; BROTONS, L.; MCCLEAN, C.; MILES, L.; SEGURADO, P.; DAWSON, T.C.; LEES, D. C. Modelbased uncertainty in species range prediction. **Journal of Biogeography**, p. 1704- 1711. 2006.

PEDROZA, C. E. G.; SOUSA, P. R. M.; DE BRITO, S. F. Uso do modelo Maxent para prever a potencial distribuição de *Prosopis juliflora* no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, 2024.

PEIXOTO, A. L.; GENTRY, A. Diversidade e composição florística da mata de tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 19-25, 1990.

PEIXOTO, A. L.; ROSA, M. M. T.; SILVA, I. M. **Caracterização da Mata Atlântica**. In: SYLVESTRE, L. S.; ROSA, M. M. T. (Org.). Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica. 1a. ed. Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, v. 1, p. 9-23, 2002.

PEREIRA, R. S.; SIQUEIRA, M. F. Algoritmo Genético para Produção de Conjuntos de Regras (GARP). **Megadiversidade**, v. 3, n. 1-2, p. 46-55, 2007.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. **The Quarterly Review of Biology**, v.78, p. 419-433, 2003.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R. G.; ANDERSON, R. P.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; ARAÚJO, M. B. **Ecological niches and geographic distributions (MPB- 49)**. Princeton University Press, 2011.

PHILLIPS, S. J. Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modelling. **Ecography**, v. 31, p. 272-278, 2008.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, [S. l.], v. 190, p.231-259, 2006.

PINTO, L. P.; BEDÊ, L.; PAESE, A.; FONSECA, M.; PAGLIA, A.; LAMAS, I. **Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial**. In: ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S. (Org.). *Biologia da conservação: Essências*. 1. ed. São Carlos: Rima, Cap. 4, p. 91-118, 2006.

PINTO, R. B.; TORKE, B. M.; MANSANO, V. F. Updates to the taxonomy of *Swartzia* (Leguminosae) in extra-Amazonian Brazil, with description of five new species and aregional key to the genus. **Brittonia**, v. 64, n. 2, p. 119-138, 2012.

PIPOLY, J. J.; RUDAS, A. New species of *Swartzia* (Fabaceae: Faboideae) from Amazonia **Novon**, v. 4, p. 165-168, 1994.

PIRANI, J. R. Diversidade taxonômica e padrões de distribuição geográfica em *Picramnia* (Simaroubaceae) no Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 4, n. 1, p. 19-44, 1990.

PIRES, A. C. B. **A conservação genética de espécies arbóreas nativas em remanescentes de Mata Atlântica, no município do Rio de Janeiro**. Monografia. Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

POWO, **Plants of the World Online**. Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet. 2025. Disponível em: <https://powo.science.kew.org/> Acesso em: 12 mar. 2025.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Cap. 2. Ameaças à diversidade biológica**. In: PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. *Biologia da conservação*. 1a. ed. Londrina: Planeta, p. 121-126, 2001.

QUEIROZ, E. P. Levantamento florístico e georreferenciamento das espécies com potencial econômico e ecológico em restinga de Mata de São João, Bahia, Brasil, **Biotemas**, v. 20, p. 41-47, 2007.

QUEIROZ, R. T. **Fabaceae - Leguminosae no Brasil**. UFPB, João Pessoa, 2021. Disponível em: <https://rubens-plantasdobrasil.blogspot.com/search/label/Swartzia> Acesso em: 11 jan. 2025.

REXER, K.; ALLEN, H.; GEARAN, P. **Predictive Analytics World**. 5th. Annual Data Miner Survey Summary Report, Oct. 2011. Disponível em: <https://www.rexeranalytics.com/data-science-survey> Acesso em: 11 jan. 2025.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Barking. v. 142, p. 1141-1153, 2009.

SÁ, J. G. B. DE. **Litter production and action of functional groups of terrestrial invertebrates in a native fragment of the Atlantic Forest in Bahia (Brazil)**. Dissertation (Modeling and Simulation of Biosystems), Bahia State University, 55 p., 2023.

SAKURAGUI, C. M. Biogeografia de *Philodendron calostigma* (Schott) Pfeiffer (Araceae) no Brasil. **Acta Scientiarum**, Ser. Ciências Biológicas, v. 23, n. 2, p. 561-569, 2001.

SANTOS, C. V. **Leaf litter and terrestrial invertebrates in native forest and *Eucalyptus* field in the Atlantic Forest biome in Bahia (Brazil)**. Dissertation (Modeling and Simulation of Biosystems), Bahia State University, 49 p., 2024.

SCHÖLKOPF, B.; SMOLA, A. J.; WILLIAMSON, R. C.; BARTLETT, P. L. New support vector algorithms. **Neural Computation**, v. 12, n. 5, p. 1207-1245, 2000.

SEOANE, C. E. S.; DIAZ, V. S.; SANTOS, T. L.; FROUFE, L. C. M. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 207-216, 2010.

SILLERO, N.; ARENAS-CASTRO, S. ENRIQUEZ-URZELAI U.; Vale, C. G.; SOUSA-GUEDES, D.; MARTÍNEZ-FREIRÍA, F.; BARBOSA, A. M. Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. **Ecol. Model.**, v. 456, p. 109671, 2021.

SILVA, J. M. C. DA.; RYLANDS, A. B.; FONSECA, G. A. B. DA. **O destino das áreas de endemismo da Amazônia. Mega diversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 124-129, 2005.

SILVA, M. F.; SOUZA, L. A. G.; CARREIRA, L. M. A. Nomes populares das Leguminosas do Brasil. Manaus. **Edua**, 2004.

SILVA, S. A. DA. **Contribution of tree species to litter production and in the action of terrestrial invertebrates in the Atlantic Forest of Bahia (Brazil)**. Dissertation (Modeling and Simulation of Biosystems), Bahia State University, 56 p., 2023.

SILVA, W. S.; ORGE, M. D. R.; DANTAS, J. A. S.; MATOS, M. R. B.; LUZ, L. S. **Espécies nativas da Mata Atlântica para restauração ambiental, conservação da biodiversidade e desenvolvimento urbano sustentável (Bahia, Brasil)**. In: Kristian Andrade Paz de la Torre (Org.). *Desenvolvimento Sustentável, Interdisciplinaridade e Ciências Ambientais 2*, 1a. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 1, p. 160-176, 2021.

SINGH, V. **Fator de inflação de variância (VIF): como lidar com a multicolinearidade na análise de regressão**. Datacamp, 2024. Disponível em: <https://www.datacamp.com/pt/tutorial/variance-inflation-factor> Acesso em: 30 mar. 2025.

SMITH, D. R tops data mining software poll. **Java Developers Journal**, 2012.

SIQUEIRA, M. F.; DURIGAN, G. Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, p. 239-249, 2007.

SOBERÓN, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. **Ecology Letters**, Oxford, v. 10, p. 1115-1123, 2007.

SOBERÓN, J. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. **Ecography**, v. 33, p. 159-167, 2010.

SOUSA, M.; GREETHER, R. *Swartzia mexicana* (Fabaceae, Swartzieae), a new species from Oaxaca, Mexico. **Novon**, v. 12, p. 115-119, 2002.

SOUSA, T. **Distribuição de palmeiras (Arecaceae) ao longo de gradientes ambientais no baixo Interflúvio Purus-Madeira, Brasil.** 33 p. Dissertação (Ciências Biológicas) – Biologia Tropical e Recursos Naturais - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2007.

STEVENS, P. F. **Angiosperm Phylogeny Website.** Version 14, jul. 2017. Disponível em: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> Acesso em: 11 jan. 2025.

STOCKWELL, D. R. B.; PETERS, D. P. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.13, p.143–158, 1999.

SUMNER, J. M.; DICKMAN, C. R. Distribution and identity of species in the *Antechinus stuartii* – *A. flavipes* group (Marsupialia: Dasyuridae) in south-eastern Australia. **Australian Journal of Zoology**, v. 46, p. 27–41, 1998.

SWETS, J. A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. **Science**, v. 240, n. 4857, p. 1285-1293, 1988.

SWIGONSKA, S.; AMAROWICZ, R.; KROL, A.; MOSTEK, A.; BADOWIEC, A.; STANISLAW, W. Influence of abiotic stress during soybean germination followed by recovery on the phenolic compounds of radicles and their antioxidant capacity. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, v. 83, p. 209-218, 2014.

SYLVESTRE, L. S. **Estudos taxonômicos e florísticos das pteridófitas brasileiras: desafios e conquistas.** In: ARAÚJO, E. L.; MOURA, A. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GESTINARI, L. M. S.; CARNEIRO, J. M. T. (Eds.). Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil. LIII Congresso Nacional de Botânica/XXV Reunião Nordestina de Botânica. Recife. p. 194-195, 2002.

THOMAS, C. D.; CAMERON, A.; GREEN, R. E.; BAKKENES, M., BEAUMONT, L. J.; COLLINGHAM, Y. C.; ERASMUS, B. F. N.; SIQUEIRA, M. F.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; VAN JAARSVELD, A. S.; MIDGLEY, G. F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, O. L.; WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate change. **Nature**, p. 145-148, 2004.

THOMAS, W. W.; MAGILL, R. E. **Uma proposta para um checklist online das plantas neotropicais.** In: ARAÚJO, E. L.; MOURA, A. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GESTINARI, L. M. S.; CARNEIRO, J.M.T. (Eds.). Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil. LIII Congresso Nacional de Botânica/XXV Reunião Nordestina de Botânica. Recife. p. 252-254, 2002.

THUILLER, W.; GEORGES, D.; GUEGUEN, M.; ENGLER, R.; BREINER, F.; LAFOURCADE, B.; PATIN, R.; BLANCHETEAU, H. **Biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling.** R package version 3.5.1, 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=biomod2> Acesso em: 31 mar. 2025.

THUILLER, W.; LAFOURCADE, B.; ENGLER, R.; ARAUJO, M. B. Biomod – a platform for ensemble forecasting of species distributions. **Ecography**, v. 32, p. 369- 373. 2009.

TORKE, B. M. Two New Species of *Swartzia* (Leguminosae) from the Amazon Basin of Brazil, with notes on the Genus and a Key to the Unifoliolate Species. **Systematic Botany**, v. 29, n. 2, p. 358-365, 2004.

TORKE, B. M.; MANSANO, V. F. A phylogenetically based sectional classification of *Swartzia* (Leguminosae-Papilionoideae). **Taxon**, v. 58, p. 913-924, 2009.

TORKE, B. M.; SCHAAL, B. Molecular phylogenetics of the swartzioid clade (Leguminosae Papilionoideae) revisited and a phylogenetic hypothesis for the species rich neotropical genus *Swartzia*. **American Journal of Botany**, v. 95, p. 215-228, 2008.

TORKE, B. M.; ZAMORA, N. A. Notes on *Swartzia* (Leguminosae) in Central America preliminary to the Flora Mesoamericana, with descriptions of two new species from Costa Rica. **Brittonia**, v. 62, n. 3, p. 222-232, 2010.

TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; AGUILAR, M.; SARMIENTO, A. Floristic patterns along a 43-km long transect in an Amazonian rain forest. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 5, p. 743-756, 2003.

VASCONCELOS, S. F. **Fenologia e síndromes de dispersão de espécies arbustivas e arbóreas ocorrentes em uma área de carrasco no Planalto da Ibiapaba, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Botânica). Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

VÁZQUEZ-YANES, C.; OROZCO-SEGOVIA, A. Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 24, p.69–87, 1993.
VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics with S PLUS**. New York, NY: Springer New York, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3121-7>. Acesso em: 13 jul. 2024.

VERCELLINO, I. S. (Org.) **Biodiversidade da Mata Atlântica na Estação Ambiental São Camilo, Itanhaém, São Paulo**. São Paulo: Publicações Centro Universitário São Camilo, 2018.

WANDERLEY, M. G. L. Diversidade e distribuição geográfica das espécies de *Ortophytum* (Bromeliaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 4, n. 1, p. 169-175, 1990.

WHITTAKER, R. J.; ARAUJO, M. B.; PAUL, J.; LADLE, R. J.; WATSON, J. E. M.; WILLIS, K. J. **Conservation biogeography: assessment and prospect**. **Diversity and Distributions**, v. 11, p. 3-23. 2005.

WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MULLER, K. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation**. R package version 1.0.9, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr> Acesso em: 20 out. 2024.

WICKHAM, H.; GIRLICH, M. **Tidyr: tidy messy data**. R package version 1.2.0, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=tidyr> Acesso em: 20 out. 2024.

WIENS, J. A.; STRALBERG, D.; JONGSOMJIT, D.; HOWELL, C. A.; SNYDER, M. A. **Niches, models, and climate change: assessing the assumptions and uncertainties**.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106: p. 19729-19736, 2009.

WILLIAMS, J. N.; SEO, C.; THORNE, J.; NELSON, J. K.; ERWIN, S.; O'BRIEN, J. M.; SCHWARTZ, M. W. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. London, **Diversity and Distributions**, v. 15, n. 4, p. 565-576, 2009.

WISZ, M. S. *et al.* The role of biotic interactions in shaping distributions and realized assemblages of species: Implications for species distribution modelling. **Biological Reviews**, v.88, n.1, p.15–30, 2013.

WRIGHT, S. J. Tropical forests in a changing environment. Barking, **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, p. 553-560, 2005.

ZIPPARRO, V. B.; GUILHERME, F. A. G.; ALMEIDA-SCABBIA, R. J.; MORELLATO, L. P. C. Levantamento florístico de floresta Atlântica no sul do Estado de São Paulo, Parque Estadual Intervales, Base Saibadela. **Biota Neotropica**, v. 5, n. 1, 2005.