



## MODELAGEM DE BIODISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES AMEAÇADAS DO GÊNERO HIRTELLA L. (CHRYSOBALANACEAE) NOS BIOMAS CAATINGA E MATA ATLÂNTICA DE ALAGOAS PELO MÉTODO DE MÁXIMA ENTROPIA

Leonardo Rodrigues Romão de Oliveira<sup>1</sup>, Vitória Araujo da Silva<sup>1</sup>, Júlia Carmo de Lima<sup>1</sup>, Renan Edson Campelo dos Santos<sup>1</sup>, Beatriz Elis de Souza Carlos<sup>1</sup>, Nicolas Lucas Lima de Oliveira<sup>1</sup>

Universidade Federal Rural de Pernambuco<sup>1</sup>

\*leorroliveira@gmail.com, vitoria090araujo@gmail.com, julia.carmo@ufrpe.br, renan.campelo@ufrpe.br, beatrizelisouza@gmail.com, nicolaslucaslima@gmail.com

### RESUMO

A crescente degradação dos biomas Caatinga e Mata Atlântica em Alagoas compromete a conservação da flora nativa e exige estratégias eficazes de restauração. Este estudo utilizou o modelo MaxEnt para identificar áreas de alta adequação ambiental para as espécies ameaçadas *Hirtella insignis* e *Hirtella santosii*, com base em dados de ocorrência do repositório GBIF e 19 variáveis ambientais. Após a exclusão de variáveis colineares (VIF), o modelo foi executado com 100 repetições, utilizando validação cruzada (75% treinamento / 25% teste). As áreas de maior adequação concentram-se no leste alagoano, indicando zonas prioritárias para ações de reflorestamento com espécies nativas. A abordagem demonstrou eficácia para subsidiar o planejamento ecológico com foco na recuperação de paisagens degradadas.

*Palavras-chave:* aprendizado de máquina, iucn, restauração, conservação.

### INTRODUÇÃO

Estima-se que até 54% da vegetação remanescente da Caatinga e 73% da Mata Atlântica apresentem algum grau de degradação, comprometendo a estrutura e o funcionamento da flora nativa (MAPBIOMAS, 2024). A aridificação representa um dos principais desafios ambientais enfrentados no estado de Alagoas, afetando aproximadamente 15% de seus municípios, esse processo é caracterizado pela degradação do solo e pela perda progressiva da cobertura vegetal, resultantes da má gestão dos recursos naturais, o que compromete atividades como a agricultura e a sustentabilidade ambiental (UFAL, 2024).

Neste contexto, o Modelo de Máxima Entropia (MaxEnt), uma técnica de modelagem de biodistribuição potencial que utiliza dados de apenas-presença combinados a variáveis preditoras ambientais, destaca-se como uma ferramenta eficaz para a identificação de áreas prioritárias para ações de restauração e conservação ecológica (ELITH *et al.*, 2010). Diante disso, este estudo teve como objetivo aplicar o algoritmo MaxEnt para mapear áreas de moderada e alta adequação ambiental às espécies florestais *Hirtella insignis* Briq. ex Prance e *Hirtella santosii* Prance, a fim de subsidiar estratégias de reflorestamento em áreas sob domínio dos biomas Caatinga e Mata Atlântica no estado de Alagoas.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de estudo

A área de estudo compreende toda extensão do estado de Alagoas, situado na região Nordeste do Brasil, entre os paralelos 08°48'12" e 10°30'12" de latitude sul e os meridianos 35°09'36" e 38°13'54" de longitude oeste. Faz divisa com os estados de Pernambuco, Bahia e Sergipe, e tem como biomas predominantes a Caatinga e a Mata Atlântica (AMORIM *et al.*, 2023). O clima predominante é tropical e quente, com temperaturas médias anuais entre 22 °C e 26 °C e chuvas marcadas por uma distribuição irregular (COMISSO; MEDEIROS, 2021).

#### Dados de presença

Com base nos resultados de Amorim *et al.* (2023), as espécies *H. insignis* e *H. santosii* foram identificadas como estando em estado grave de conservação. Segundo os autores, as espécies *H. insignis* e *H. santosii* são endêmicas da Mata Atlântica, ambas ocorrem nos estados de Alagoas, Bahia e Espírito Santo. *H. insignis* é uma árvore de aproximadamente 7 metros de altura, reconhecida pelas características das folhas, inflorescências, brácteas e bractéolas. Já *H. santosii* possui hábito arbóreo, com altura entre 3 e 15 metros, sendo identificada principalmente pelo pecíolo, ramos e raque da inflorescência.

A partir dessa constatação, foram obtidos dados georreferenciados de ocorrência dessas espécies no repositório digital GBIF (<https://www.gbif.org/>). Os registros passaram por um criterioso processo de filtragem, no qual foram excluídas todas as ocorrências sem coordenadas geográficas válidas. Após esse refinamento,

foram selecionados 72 para *Hirtella insignis* e 40 para *Hirtella santosii*, organizados em planilha eletrônica no formato CSV para posterior análise.

### Conjunto de variáveis independentes

Foram selecionadas 35 variáveis ambientais representativas da área de estudo, abrangendo características bioclimáticas, edáficas e topográficas. As variáveis foram extraídas da plataforma Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>), em formato TIF, com resoluções espaciais e projeções geográficas devidamente padronizadas. A seleção final do conjunto de variáveis foi refinada por meio do teste do Fator de Inflação da Variância (VIF), com o objetivo de assegurar independência entre as variáveis preditoras e reduzir a multicolinearidade, minimizando o conjunto em 19 variáveis (Tabela 1). Posteriormente, as variáveis selecionadas foram convertidas para o formato ASCII.

Tabela 1. Conjunto de variáveis selecionadas, organizadas por classes temáticas, com base no Fator de Inflação da Variância (VIF), para aplicação na modelagem de biodistribuição no estado de Alagoas.

Classe	Variável	Classe	Variável
Bioclimática	Amplitude térmica diária média	Edáfica	Fração volumétrica de fragmentos grosseiros
	Temperatura mín. do mês mais frio		Teor de argila
	Precipitação do mês mais úmido		Teor de silte
	Precipitação do mês mais seco		Teor de areia
	Precipitação do trimestre mais quente		Nitrogênio total
	Precipitação do trimestre mais frio		pH do solo
	Densidade aparente da fração de terra fina		Densidade de carbono orgânico
Topográfica	Capacidade de troca catiônica do solo	Outra	Teor de carbono orgânico do solo na fração terra fina
	Declividade do terreno		Radiação solar média anual
	Orientação da declividade		

### Execução e validação do modelo

A modelagem foi realizada utilizando o software MaxEnt, versão 3.4.4 ([https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)), conforme a metodologia proposta por Cotrino Sánchez *et al.* (2021). Do total de registros, 75% foram utilizados para o treinamento do modelo e 25% para sua validação, ambos selecionados aleatoriamente. O algoritmo foi executado com 100 repetições, ao longo de 5.000 iterações, utilizando o método de replicação Bootstrap, que permite a criação de diferentes partições aleatórias. (PHILLIPS *et al.*, 2017). A performance dos modelos foi avaliada por meio da curva ROC (Receiver Operating Characteristic), da métrica AUC (Área Sob a Curva) e do teste Jackknife, o qual estima a importância relativa de cada variável ambiental, tanto quando usada isoladamente quanto quando omitida do modelo, identificando aquelas que mais contribuem com informações únicas para a previsão da distribuição.

### Pós-processamento

O algoritmo foi processado em um computador configurado com um processador AMD Ryzen 7 1700X 3.40 GHz, 32 GB de memória RAM DDR4 e uma placa de vídeo NVIDIA GTX 1060 com 6 GB de memória gráfica dedicada ao coprocessamento. Os modelos resultantes para cada família taxonômica foram convertidos para o formato TIF e posteriormente binarizados, considerando como áreas de moderada a alta adequação aquelas com valores superiores a 0,4, conforme Cotrino Sánchez *et al.* (2021). Por fim, os produtos binarizados foram sobrepostos, resultando em um mapeamento integrado das áreas prioritárias para a realização de ações de restauração e conservação das espécies na região de estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em suas avaliações, os modelos apresentaram valores de área sob a curva (AUC) superiores a 0,9, classificando suas performances como excelente de acordo com Phillips *et al.* (2017), e desvio padrão de 0,002 e



0,003, respectivamente, para *H. santosii* e *H. insignis*. Já a análise Jackknife indicou que, para ambas as espécies *Hirtella insignis* e *Hirtella santosii*, a variável ambiental Amplitude térmica diária média apresentou o maior ganho regularizado quando utilizada isoladamente, evidenciando-se como a mais informativa individualmente. Por outro lado, a exclusão da variável Precipitação do mês mais úmido resultou na maior redução do ganho do modelo, indicando que esta variável contribui com informações não redundantes em relação às demais.

A distribuição potencial de *Hirtella insignis* e *Hirtella santosii* concentrou-se na porção leste de Alagoas (Figura 1), especialmente na transição entre a Mata Atlântica e a Caatinga. *H. santosii* apresentou distribuição mais ampla, enquanto *H. insignis* foi mais restrita e pontual. As áreas com sobreposição de moderada a alta adequação indicam regiões estratégicas para ações de restauração e conservação multiespécies, com destaque para fragmentos da Mata Atlântica e zonas ecotoniais.

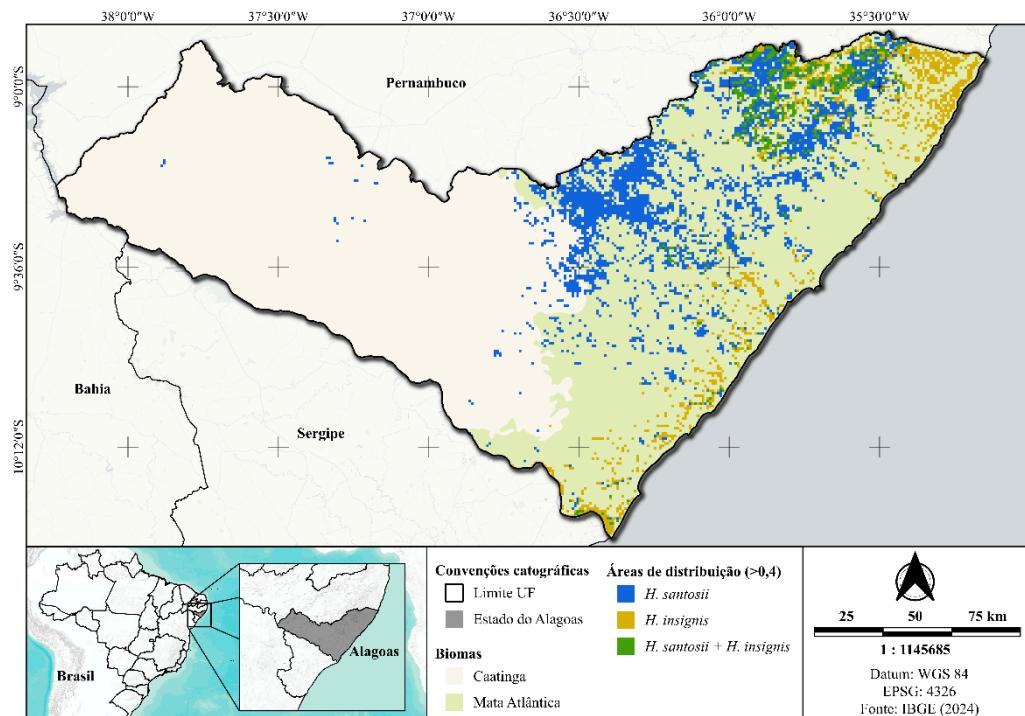


Figura 1. Áreas de distribuição potencial de *Hirtella insignis* Briq. ex Prance e *Hirtella santosii* Prance no estado do Alagoas, considerando regiões de moderada a alta adequação ( $>0,4$ ) nos biomas Caatinga e Mata Atlântica.

Ao analisar áreas de distribuição (Tabela 2), percebe-se que a maior parte das regiões ambientalmente adequadas para *Hirtella insignis* e *Hirtella santosii* está concentrada no bioma Mata Atlântica. *H. santosii* apresentou a maior abrangência, com aproximadamente 23% da área do bioma, enquanto *H. insignis* ocupou cerca de 12%. Já na Caatinga, ambas as espécies mostraram valores residuais de adequação, indicando baixa compatibilidade ambiental atual. Esses resultados reforçam o papel prioritário da Mata Atlântica nas estratégias de conservação e restauração, especialmente em áreas onde há sobreposição da distribuição potencial das duas espécies.

Tabela 2. Área de distribuição potencial de *Hirtella insignis* Briq. ex Prance e *Hirtella santosii* Prance nos biomas Caatinga e Mata Atlântica no estado de Alagoas.

Bioma	Área Geográfica (ha)	<i>H. insignis</i>		<i>H. santosii</i>		<i>H. insignis + H. santosii</i>	
		ha	%	ha	%	ha	%
Mata Atlântica	1.315.245,455	161.032,67	12,244	301.685,83	22,938	54.224,861	4,123
Caatinga	1.462.977,107	84.182	0,006	19.138,980	1,308	0,000	0,000



Total	2.778.222,562	161.116,85 6	5.799	320.824,81 1	11.548	54.224,861	1.952
-------	---------------	-----------------	-------	-----------------	--------	------------	-------

Legenda: Valores expressos em hectares (ha) e porcentagem (%) em relação à área total do bioma no Estado do Alagoas. A distribuição foi obtida a partir da binarização dos modelos preditivos com limiar de adequação ambiental superior a 0,4.

## CONCLUSÕES

- O modelo MaxEnt apresentou desempenho satisfatório ( $AUC > 0,9$ ), evidenciando sua eficácia na previsão da distribuição potencial das espécies *H. insignis* e *H. santosii*.
- As variáveis Amplitude térmica diária média e Precipitação do mês mais úmido foram as que mais influenciaram a modelagem.
- As áreas de maior adequação ambiental foram concentradas no leste de Alagoas, configurando-se como zonas estratégicas para ações de reflorestamento com espécies florestais ameaçadas.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, C. M. F.; SILVA, E. L.; LEMOS, R. P. L. **FLORA DE ALAGOAS: HERBÁRIO MAC 40 ANOS: FAMÍLIAS BOTÂNICAS DA COLEÇÃO**. Maceió/AL: Lumos Assessoria Editorial, fev. 2023. 380 p. v. 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Edital de Chamamento Público nº 1, de 28 de março de 2024. Celebração de Acordos de Cooperação Projeto Rede Floresta + Iniciativa Conexão Florestal, no âmbito do Plano de Ação para Recuperação e Manejo de Florestas – Plano Floresta + Sustentável. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, um de abril de 2024.

COMISSO, H. S.; MEDEIROS, E. S. MAPEAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE ALAGOAS POR MEIO DE TÉCNICAS GEOESTATÍSTICAS. **Revista Univap**, v. 27, ed. 55, 2021.

COTRINA SÁNCAHEZ, A.; ROJAS BRICEÑO, N. B.; BANDOPAHYAY, S.; GHOSH, S.; TORRES GUZMÁN, C.; OLIVA, M.; GUZMAN, B. K.; SALAS LÓPEZ, R. Biogeographic distribution of Cedrela spp. Genus in Peru using MaxEnt modeling: A conservation and restoration approach. **Diversity**, v. 13, n. 6, p. 261, 2021.

ELITH, J.; PHILLIPS, S. J.; HASTIE, T.; DUDÍK, M.; CHEE, Y. E.; YATES, C. J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity And Distributions**, v. 17, n. 1, p. 43 - 57, 2010.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE ALAGOAS (IMA/AL). Especial Área de Proteção Ambiental Serra da Caiçara. **Revista Ambiental**. v. 5, n. 1, 2022.

MAPBIOMAS. **MapBiomas lança plataforma inédita que pela primeira vez avalia a degradação em todos os biomas brasileiros**. [S. l.], 5 jul. 2024.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E.; B Opening the black box: an open-source release of Maxent. **Ecography**, v. 40, n. 7, p. 887 – 893, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (UFAL). **Desertificação já atinge 15% dos municípios alagoanos, aponta estudo do Lapis Ufal**. Alagoas, 2024. Disponível em: <<https://noticias.ufal.br/ufal/noticias/2024/5/desertificacao-ja-atinge-15-dos-municipios-alagoanos-aponta-estudo-o-do-lapis-ufal>>. Acesso em: 21 abr. 2025.