

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae),
utilizando MaxEnt, sob diferentes cenários climáticos**

Yuri Eloi Ferreira Carrijo
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026**

YURI ELOI FERREIRA CARRIJO

**Distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae),
utilizando MaxEnt, sob diferentes cenários climáticos**

Dissertação Mestrado Profissional
apresentada à Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Defesa
Sanitária Vegetal (Profissional), para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Elisângela Gomes Fidelis

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C316d
2026

Carrijo, Yuri Eloi Ferreira, 1986-

Distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus* no Brasil e no mundo, e o risco econômico para os municípios produtores de laranja no Brasil / Yuri Eloi Ferreira Carrijo. – Viçosa, MG, 2026.

1 dissertação eletrônica (52 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Elisângela Gomes Fidelis.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamentos de Entomologia, 2026.

Referências bibliográficas: f. 45-52.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.293>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Laranja - Doenças e pragas - Avaliação de riscos.
2. Pragas agrícolas - Avaliação de riscos. 3. Plantas - Proteção.
I. Fidelis, Elisângela Gomes, 1981-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamentos de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Defesa Sanitária Vegetal. III. Título.

CDD 22. ed. 634.3197

YURI ELOI FERREIRA CARRIJO

**Distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae),
utilizando MaxEnt, sob diferentes cenários climáticos**

Dissertação Mestrado Profissional
apresentada à Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Defesa
Sanitária Vegetal (Profissional), para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2026.

Assentimento:

Yuri Eloi Ferreira Carrijo
Autor

Elisângela Gomes Fidelis
Orientadora

Essa dissertação mestrado profissional foi assinada digitalmente pelo autor em 08/07/2026 às 14:41:31 e pela orientadora em 08/07/2026 às 14:42:47. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **PWAM.4Y8W.MBKQ** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha esposa Edlaine e meu filho Luan, que sempre me apoiaram e foram compreensivos quando o meu tempo para a família era escasso.

Aos meus pais, Eloi e Dalva pelo esforço em me proporcionar um fundamento sólido para a vida.

À minha irmã, pelas alegrias divididas.

Aos meus colegas da Agência de Defesa Sanitária Agrosilvopastoril do Estado de Rondônia (IDARON), pelo apoio.

À orientadora Elisangela Gomes Fidelis e ao professor George Correa Amaro, pelos ensinamentos e direcionamentos na execução deste trabalho.

Aos colegas da turma do mestrado, pela parceria.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Mestrado Profissional em Defesa Sanitária Vegetal, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do
céu”.
(Eclesiastes 3:1 ACF)

RESUMO

CARRIJO, Yuri Eloi Ferreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2026. **Distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae), utilizando MaxEnt, sob diferentes cenários climáticos.** Orientadora: Elisângela Gomes Fidelis.

A laranja é uma das principais culturas comerciais brasileiras e o Brasil é o maior produtor mundial. O ataque de pragas afeta economicamente essa cultura, como é o caso de *Aleurocanthus spiniferus*, que é uma praga quarentenária ausente para o Brasil e que tem as espécies de citrinos como seus hospedeiros principais. A modelagem de nicho ecológico de máxima entropia (Maxent) é uma ferramenta eficaz para prever a adequação de habitats e foi utilizada neste trabalho para prever o risco potencial de *A. spiniferus* em regiões onde ela não ocorre. Os dados de presença da praga foram obtidos em trabalhos científicos. Já os dados climáticos foram baixados do WorldClim 2.1 para o cenário climático atual. A modelagem previu uma área total muito adequada para a praga de 9.034.117 km² e no Brasil de 1.973.192 km². A partir dos dados econômicos municipais brasileiros da produção de laranja e do conhecimento da distribuição potencial da praga foi elaborado um mapa com diferentes níveis de risco econômico para os municípios brasileiros, baseado na dependência econômica com a produção de laranja. Um total de 85 municípios apresentou o risco mais elevado na escala, dos quais 64 estão localizados no Estado de São Paulo. Os resultados desse trabalho fornecerão subsídios para a tomada de decisões de defesa fitossanitária para evitar a dispersão dessa praga e seus danos econômicos.

Palavras-chave: praga quarentenária; nicho ecológico; defesa fitossanitária

ABSTRACT

CARRIJO, Yuri Eloi Ferreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2026. **Potential distribution of *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae), using MaxEnt, under different climatic scenarios.** Adviser: Elisângela Gomes Fidelis.

Orange is one of the main commercial crops in Brazil and Brazil is the largest producer. Pest infestations cause significant economic losses to this crop, as is the case of *Aleurocanthus spiniferus*, a quarantine pest currently absent from Brazil and citrus are their main hosts. Maximum entropy ecological niche modeling (Maxent) is an effective tool for predicting habitat suitability and was used in this study to assess the potential risk of *A. spiniferus* in regions where the species does not currently occur. Presence records for the pest were compiled from peer-reviewed scientific studies. Climatic data were obtained from WorldClim v2.1 under the current climate scenario. The modeling results predicted a total climatically suitable area of 9,034,117 km² for the pest globally and 1.973.192 km² within Brazil. Using municipal-level economic data on orange production in Brazil and the estimated potential distribution of the pest, we developed a map depicting different levels of economic risk across Brazilian municipalities. This risk zoning was based on municipalities' economic dependence on orange production, and (n = 85) municipalities presented the highest risk category; of which (n = 64) are located in the state of São Paulo. The results of this study provide support for phytosanitary decision-making aimed at preventing the spread of this pest and its associated economic damage.

Keywords: quarantine pest; ecological niche; plant health defense

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 A, B - Importância por permutação das variáveis ambientais retidas no modelo Maxent para prever a distribuição potencial de <i>Aleurocanthus spiniferus</i> . (A) AUC, área sob a curva; (B) TSS, estatística de habilidade verdadeira.	27
Figura 2 - Ocorrência atual de <i>Aleurocanthus spiniferus</i> (pontos pretos) e sua adequabilidade global potencial.	33
Figura 3 – Adequabilidade potencial de <i>Aleurocanthus spiniferus</i> (A) para o Brasil e (B) para os municípios do Brasil.....	35
Figura 4 - Adequabilidade de <i>Aleurocanthus spiniferus</i> em diferentes classificações climáticas de Köppen-Geiger. Em (A) áreas nativas e (B) áreas invadidas.	37
Figura 5 - Concentração espacial da produção de laranjas no Brasil, apresentado como índice normalizado (ICn). Os gradientes de cor variam de azul/verde (menor concentração) até laranja/vermelho (maior concentração). Os municípios em branco não possuem produção.	39
Figura 6 - Risco econômico para os municípios brasileiros produtores de laranja em função do ICn e da adequabilidade de <i>Aleurocanthus spiniferus</i>	42
Figura 7 – Matriz de risco que embasa o mapa da Figura 5 e relaciona o ICn e a probabilidade de adequação de <i>Aleurocanthus spiniferus</i> aos municípios brasileiros.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações de pontos de presença confirmados por fontes bibliográficas que foram utilizados para modelar a distribuição potencial de <i>Aleurocanthus spiniferus</i>	20
Tabela 2 – Descrição das 19 variáveis bioclimáticas obtidas a partir WorldClim 2.1.26	
Tabela 3 - Métricas de avaliação do desempenho do modelo Maxent para prever a distribuição potencial de <i>Aleurocanthus spiniferus</i>	31
Tabela 4 - Relação dos 85 municípios produtores de laranja e seus estados que apresentaram o risco econômico classe número 4 (muito alto). em função do ICn e da adequabilidade de <i>Aleurocanthus spiniferus</i>	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

10MTP — 10% Minimum Training Presence (10% da presença mínima de treinamento)

1-MAE — 1 – Mean Absolute Error (Erro Absoluto Médio Inverso)

AC — Área de calibração

ACF — Almeida Corrigida Fiel (abreviação da versão bíblica citada)

AUC — Area Under the Curve (Área sob a Curva)

AUCPR — Area Under the Precision-Recall Curve (Área sob Curva de Precisão/Recordação)

Bio02 — Variação média diurna de temperatura

Bio04 — Sazonalidade da temperatura

Bio05 — Temperatura máxima do mês mais quente

Bio13 — Precipitação do mês mais úmido

Bio14 — Precipitação do mês mais seco

Bio15 — Sazonalidade da precipitação

Bio19 — Precipitação do trimestre mais frio

Bio9 — Temperatura média do trimestre mais seco

CABI — Centre for Agriculture and Bioscience International

CBI — Continuous Boyce Index (Índice Contínuo de Boyce)

EPPO — European and Mediterranean Plant Protection Organization (Organização Europeia e Mediterrânea para a Proteção de Plantas)

FAO — Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)

FPB — F-measure sobre Presença-Fundo (Medida F sobre Presença-Fundo)

FPR — False Positive Rate (taxa de falsos positivos)

GBIF — Global Biodiversity Information Facility

IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICn — Índice de Concentração Normalizado

IDARON — Agência de Defesa Sanitária Agrosilvopastoril do Estado de Rondônia

IHH — Índice Hirschman-Herfindahl

KM² — quilômetros quadrados

MAPA — Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

MBA — Movimento-Biótico-Abiótico

MTP — Minimum Training Presence (presença mínima de treinamento)

OR/UPR — Omission Rate / Underprediction Rate (taxa de omissão/subpredição; falso negativo)

PCA — Principal Component Analysis (Análise de Componentes Principais)

PR — Participação Relativa

PSD — Predictive Standard Deviation (Desvio padrão preditivo médio)

QL — Quociente de Localização

R — Linguagem/ambiente estatístico R

RMSE — Root Mean Squared Error (Erro Médio-Quadrático)

ROC — Receiver Operating Characteristic (curva característica de operação do receptor)

SIDRA — Sistema IBGE de Recuperação Automática

TNR — True Negative Rate (taxa de verdadeiros negativos)

TPR — True Positive Rate (Taxa de Positividade Verdadeira, Sensibilidade ou Recordação)

TSS — True Skill Statistic (Estatística de Habilidade Verdadeira)

UFV — Universidade Federal de Viçosa

USDA — United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	IMPORTÂNCIA DA CITRICULTURA E RISCOS FITOSSANITÁRIOS.....	15
2.2	ASPECTOS BIOLÓGICOS E TAXONÔMICOS DE <i>Aleurocanthus spiniferus</i>	15
2.3	DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E EXPANSÃO RECENTE.....	16
2.4	ESTRATÉGIAS DE MANEJO E CONTROLE DE <i>A. spiniferus</i>	17
2.5	MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO E MAXENT	17
2.6	RISCO ECONÔMICO E IMPLICAÇÕES PARA A CITRICULTURA BRASILEIRA	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A laranja é um importante produto alimentar em todo o mundo, os frutos podem ser consumidos in natura e também são fontes de óleos essenciais e de matéria prima para as indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos (Bausher et al., 2006). Seu nome científico é *Citrus sinensis* e pertencente à família Rutaceae, sendo um híbrido do cruzamento de *Citrus maxima* (toranja) e *Citrus reticulata* (tangerina) (Embrapa, s.d.).

Na safra 2024/2025, a produção mundial de laranja atingiu 45,22 milhões de toneladas e no Brasil que é atualmente o maior produtor mundial, foram 13 milhões de toneladas, correspondendo a aproximadamente 28,7 % da produção total (USDA, 2024).

A grande quantidade de pragas que atacam os citros é um desafio à produção, pois algumas são extremamente danosas (Peng, et al., 2023). Dentre essas pragas, algumas são consideradas quarentenárias, ou seja, possuem um risco econômico potencial para áreas onde a praga ainda não está presente, ou em áreas onde a presença já foi confirmada, mas a dispersão ainda não ocorreu em todo território e está sob controle oficial governamental (FAO, 2017).

Uma das espécies quarentenárias de importância para vários países, incluindo o Brasil, é *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae) (Bragard et al., 2018, EPPO, 2024). Essa praga é originária da China e do Sul e Sudeste Asiático, sendo uma das pragas mais graves que infestam os citros (Nugnes et al., 2020). Ela é uma espécie polífaga, com preferência pelos citros, mas com registros em quase 100 plantas hospedeiras e em 37 famílias de plantas (EPPO, 2022; Cioffi et al., 2013). Atualmente, está presente em 44 países, e por ser considerada praga quarentenária em vários outros, sua dispersão pode resultar em barreiras comerciais para a exportação de frutos in natura de diversas espécies. Os danos causados por *A. spiniferus* às plantas são diretos ou indiretos, respectivamente ao sugarem a seiva ou ao transmitirem vírus. Eles também excretam substâncias açucaradas, que cobrem as superfícies das folhas e frutos, levando à infecção por fungos (EPPO, 2022; Khamis et al., 2021).

O ciclo de vida desse inseto é caracterizado por seis estágios de desenvolvimento: ovo, quatro íces pré-adultos e adultos. O primeiro instar é móvel (rastejante), mas os instares imaturos subsequentes se fixam na planta (Simala &

Masten Milek, 2013). A taxonomia do grupo e o reconhecimento das espécies são baseados principalmente na morfologia do quarto instar, chamado pupário (EPPO, 2022). Outra característica marcante do gênero *Aleurocanthus* é a oviposição em forma de espiral (Simala & Masten Milek, 2013; EPPO, 2020), que por sua vez é de fácil observação a campo, mas em locais com a presença de mais de uma espécie com esta característica de oviposição pode dificultar a identificação por um observador inexperiente. O gênero *Aleurocanthus* carece de revisão taxonômica e de um mapeamento genético mais extenso (Jansen & Porcelli, 2018), havendo a possibilidade de se ter outras espécies ainda sem classificação dentro desse gênero como ocorreu com as espécies *A spiniferus* e *A camelliae*, que durante décadas foram tratadas como uma única espécie (Kanmiya et al., 2011) e por conta disso, os relatos antigos de *A spiniferus* podem conter, na verdade essas duas espécies semelhantes. No caso do Brasil, a ocorrência da mosca-negra-dos-citros, *A. woglumi* (Silva et al., 2011) pode dificultar a detecção devido às semelhanças.

Aleurocanthus spiniferus possui hospedeiros que são em sua maioria plantas frutíferas e ornamentais (Nugnes et al., 2020), mostrando a sua direta presença e vínculo com áreas antropizadas, o que explica também a sua dispersão ligada ao trânsito de vegetais transportados pelos humanos em viagens ou movimentações comerciais (Jansen & Porcelli, 2018; Simala & Masten Milek, 2013).

O conhecimento sobre o potencial estabelecimento de uma praga em locais diferentes de sua presença atual pode ser conseguido com uma modelagem preditiva de distribuição, que auxilia na tomada de medidas fitossanitárias preventivas. Nesse contexto, os modelos de nicho ecológico são ferramentas que permitem estudar as implicações de fatores ambientais diversos na distribuição de populações de insetos-praga e plantas cultivadas (Elith & Leathwick, 2009). O modelo de máxima entropia (Maxent) se destaca pela capacidade de prever a adequação do habitat com base em algoritmos de aprendizado de máquina, usando correlações entre dados de registros de ocorrência de espécies e variáveis ambientais (Silva et al., 2011). Este tipo de modelo é chamado de correlativo (Kumar et al., 2014) e ainda permite avaliar a contribuição de cada variável (Phillips et al., 2006).

Com base em indicadores sociais e econômicos relacionados a produção de laranja, também é possível avaliar o risco da cultura em cada região produtora.

A agricultura está mais sujeita a riscos do que outros setores, devido ao fato de os produtos agrícolas estarem sujeitos a processos naturais e ataque de pragas, que

causam um impacto negativo na produção. Portanto, os agricultores precisam desenvolver estratégias de gestão de riscos para lidar com esses eventos adversos. Por isso, na agricultura, é extremamente importante avaliar e gerenciar os riscos agrícolas para subsidiar melhores métodos de gestão e na tomada de decisões (Girdžiūtė, L., 2012).

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo obter um modelo de potencial distribuição de *A. spiniferus* no mundo, utilizando o modelo de nicho de máxima entropia (Maxent), e obter um mapa de risco econômico de cada município brasileiro para a cultura da laranja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CITRICULTURA E RISCOS FITOSSANITÁRIOS

A produção de laranja brasileira atualmente é a maior do mundo (USDA, 2024). De acordo com projeções oficiais, a produção brasileira deve evoluir de aproximadamente 16,8 milhões de toneladas (2023) para 17,7 milhões de toneladas em 2032/33, mesmo em um cenário de redução da área plantada, evidenciando ganhos de eficiência produtiva no período projetado (Brasil, 2023). Esse sistema apresenta forte concentração territorial, com o estado de São Paulo liderando com 61,0% da área colhida e 76,1% da produção nacional em 2023, além de produtividade acima da média brasileira (Brasil, 2023).

Este protagonismo, entretanto, torna o setor altamente vulnerável à introdução e ao estabelecimento de pragas exóticas, especialmente aquelas com elevado potencial invasivo e impacto econômico. Entre essas pragas, destaca-se *Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance, 1903) (Hemiptera: Aleyrodidae), classificada como praga quarentenária ausente no Brasil, mas já amplamente distribuída em regiões da Ásia, África, Oceania e Europa (Porcelli, 2008; Nugnes et al., 2020).

A introdução de insetos-praga em novas áreas é fortemente impulsionada pela intensificação do comércio internacional, pela mobilidade humana e pelas mudanças climáticas globais, fatores que favorecem tanto a dispersão quanto o estabelecimento dessas espécies em ambientes anteriormente inadequados (Roques et al., 2016; Seebens et al., 2017). Nesse contexto, estudos que avaliem o risco potencial de invasão e os impactos econômicos associados são fundamentais para subsidiar políticas de defesa fitossanitária.

2.2 ASPECTOS BIOLÓGICOS E TAXONÔMICOS DE *Aleurocanthus spiniferus*

O gênero *Aleurocanthus* compreende espécies morfologicamente semelhantes, o que historicamente gerou dificuldades taxonômicas e diagnósticas. Revisões recentes destacam a necessidade de análises morfológicas detalhadas do pupário, aliadas a abordagens moleculares, para a correta identificação das espécies do gênero, incluindo *A. spiniferus* e espécies próximas, como *A. camelliae* (Jansen & Porcelli, 2018; Kanmiya et al., 2011).

Aleurocanthus spiniferus apresenta elevada plasticidade ecológica e ampla gama de plantas hospedeiras, com registros em citros, planta do chá (*Camellia sinensis*), ornamentais e espécies florestais. Essa polifagia contribui para seu alto potencial invasivo e para a rápida expansão em áreas recém-colonizadas (Nugnes et al., 2020; Radonjić & Hrnčić, 2021). Além dos danos diretos causados pela sucção de seiva pelas ninfas e adultos, a espécie promove o desenvolvimento de fumagina devido à excreção de uma substância líquida açucarada comprometendo a fotossíntese e a qualidade dos frutos (Bragard, 2018).

Em função de seu elevado potencial invasivo e dos prejuízos econômicos associados, *A. spiniferus* é considerada praga quarentenária em diversos países e regiões, incluindo a União Europeia, onde medidas rigorosas de vigilância e erradicação têm sido adotadas (Bragard, 2018).

2.3 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E EXPANSÃO RECENTE

A distribuição nativa de *A. spiniferus* é geralmente associada ao leste e sudeste da Ásia, e a espécie passou a ser registrada em outras regiões ao longo do século XX, alcançando África, Oceania e ilhas do Pacífico. Na Europa, a detecção em 2008 no sul da Itália representou um marco, seguida por expansão regional e registros em países mediterrâneos e balcânicos (Porcelli, 2008; Nugnes et al., 2020).

A amplitude de hospedeiros é um dos fatores que elevam o risco de estabelecimento. Sínteses europeias e estudos de campo reportam infestação em aproximadamente 90 espécies de plantas distribuídas em dezenas de famílias botânicas, incluindo Rutaceae (citros), Rosaceae, Vitaceae, Lauraceae e diversas ornamentais (Bragard, 2018; Nugnes et al., 2020; EPPO, 2020). Essa polifagia favorece a manutenção de populações inclusive em quintais e áreas verdes, criando fontes contínuas de reinfestação.

Registros recentes em áreas invadidas indicam que a espécie pode colonizar novos hospedeiros ao longo do processo de expansão. Na Itália, por exemplo, foram reportadas ocorrências em hospedeiros adicionais, incluindo espécies ornamentais e invasoras como *Ailanthus altissima* (Bubici et al., 2020; EPPO, 2020).

Estudos baseados em caracterização morfológica e molecular indicam a presença de diferentes haplótipos, sugerindo múltiplos eventos de introdução e uma considerável diversidade genética em populações invasoras, o que pode aumentar a

capacidade adaptativa da espécie (Nugnes et al., 2020). Essa variabilidade genética está associada à maior probabilidade de sucesso invasivo, especialmente sob diferentes condições climáticas.

Embora tradicionalmente associada a climas tropicais e subtropicais, evidências recentes demonstram que *A. spiniferus* apresenta notável capacidade de adaptação a temperaturas mais baixas. Estudos experimentais indicam que ninfas em estágios mais avançados possuem maior tolerância ao frio, especialmente quando submetidas a regimes térmicos flutuantes com períodos de aquecimento entre os eventos de friagem, o que aumenta significativamente as taxas de sobrevivência em temperaturas negativas (Jia et al., 2025).

Mecanismos fisiológicos e bioquímicos associados à tolerância ao frio, acúmulo de crioprotetores como glicerol e mudanças na expressão gênica, destacando-se o papel do gene (AspiAKR1B1) na adaptação térmica da espécie (Jia et al., 2025). Esses achados ampliam a compreensão sobre o potencial de estabelecimento da praga em regiões subtropicais e temperadas.

2.4 ESTRATÉGIAS DE MANEJO E CONTROLE DE *A. spiniferus*

O manejo de *A. spiniferus* envolve principalmente abordagens de manejo integrado de pragas, combinando métodos químicos, culturais e biológicos. Estudos recentes indicam que determinados inseticidas podem não causar mortalidade direta significativa, mas interferem no comportamento de alimentação e oviposição da espécie, contribuindo para a redução populacional quando integrados a outras estratégias de controle (Mokrane et al., 2020).

O controle biológico tem recebido atenção crescente, especialmente em áreas invadidas da Europa, onde parasitoides dos gêneros *Encarsia* e *Eretmocerus* foram identificados como inimigos naturais importantes de *A. spiniferus*. Adicionalmente, estudos em áreas invadidas registraram predadores como joaninhas do gênero *Delphastus*, com potencial de complementar o controle por parasitoides e reduzir picos populacionais (Nugnes et al., 2020; Farina & Rapisarda, 2025). A introdução e conservação desses agentes podem representar alternativas sustentáveis ao uso intensivo de inseticidas.

2.5 MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO E MAXENT

A modelagem de nicho ecológico tem sido amplamente utilizada para estimar a distribuição potencial de espécies, antecipar áreas sob risco de invasão, orientar programas de monitoramento e subsidiar ações preventivas de defesa fitossanitária, especialmente para pragas quarentenárias ausentes em determinadas regiões (Bragard, 2018). Esses modelos relacionam registros de ocorrência com variáveis ambientais, permitindo identificar áreas ambientalmente adequadas ainda não ocupadas pela espécie (Elith et al., 2011).

Entre os algoritmos disponíveis, o método de máxima entropia (Maxent) destaca-se por apresentar bom desempenho mesmo com conjuntos de dados de presença relativamente reduzidos, sendo amplamente empregado em estudos de risco fitossanitário e conservação da biodiversidade (Elith et al., 2011; Phillips & Dudík, 2008).

O Maxent fundamenta-se em um princípio estatístico que busca a distribuição de probabilidade de máxima entropia, isto é, a mais próxima da uniforme, sujeita às restrições impostas pelas características ambientais observadas nos locais de ocorrência conhecida da espécie. Além disso, o método foi proposto para modelar distribuições geográficas com dados de presença apenas, contrastando os ambientes onde a espécie foi registrada com as condições ambientais disponíveis na área de estudo, representadas por uma amostra de background (Phillips et al., 2006).

No Maxent, as variáveis preditoras podem ser contínuas como altitude, precipitação anual e temperatura máxima, ou categóricas, como tipo de solo e tipo de vegetação. A partir dessas variáveis, o algoritmo cria funções derivadas denominadas “features” que permitem estimar a resposta da espécie aos gradientes ambientais. A robustez biológica das projeções, contudo, depende de decisões de modelagem como a escolha dos preditores, a definição da área de calibração, o tratamento de vieses dos dados de ocorrência e a parametrização do modelo, fatores que influenciam diretamente a interpretação ecológica e o desempenho preditivo (Phillips; Dudík, 2008; Elith et al., 2011).

2.6 RISCO ECONÔMICO E IMPLICAÇÕES PARA A CITRICULTURA BRASILEIRA

Uma vez gerado o mapa de adequabilidade, a transposição para risco econômico pode ser feita combinando fatores de adequabilidade ambiental, com

indicadores de especialização de produção. São exemplos o (Quociente de Localização – QL) que expressa o grau de especialização relativa de uma atividade em um território, ao comparar a participação desse setor na economia local com sua participação na economia de referência, a (Participação Relativa - PR) que mede a importância da atividade local no conjunto nacional do setor, o (Índice Hirschman-Herfindahl - IHH) busca captar o peso efetivo do setor na estrutura produtiva local. Já o Índice de Concentração Normalizado (ICn) sintetiza, em um único indicador, o QL, a PR e o IHH, permitindo uma avaliação mais robusta da concentração e da dependência econômica em uma área, portanto, valores mais altos indicam maior sensibilidade territorial a impactos fitossanitários que afetem a cultura (Crocco et al. 2006).

Estes índices nasceram como indicadores de concentração e especialização produtiva em geral e não para estimarem o risco agrícola, mas as aplicações recentes para correlacionar áreas com alta dependência econômica de uma cultura diante da ameaça de pragas agrícolas, demonstram a utilidade de índices compostos que integram adequabilidade climática e métricas econômicas como indicadores de risco (Amaro et al., 2025; Girdžiūtė, 2012).

A introdução de *A. spiniferus* no Brasil poderia acarretar impactos econômicos significativos, sobretudo em municípios altamente dependentes da citricultura. A combinação entre alta adequação climática potencial e elevada dependência econômica da produção de laranja aumenta a vulnerabilidade dessas regiões, justificando a elaboração de mapas de risco econômico como ferramenta de apoio à tomada de decisão (El Kenawy et al., 2016). Além disso, a presença de pragas quarentenárias pode gerar restrições ao comércio internacional, afetando diretamente a competitividade do setor citrícola (Bragard, 2018).

Nesse contexto, a integração entre modelos de distribuição potencial e indicadores socioeconômicos têm sido recomendada para identificar áreas prioritárias para vigilância e intervenção, permitindo uma alocação mais eficiente de recursos em programas de defesa fitossanitária (Roques et al., 2016). Assim, a compreensão dos padrões de distribuição potencial de *A. spiniferus* e de seus impactos econômicos constitui elemento central para a proteção da citricultura nacional.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Dados de ocorrência de *A. spiniferus* foram obtidos de registros em fontes bibliográficas (Tabela 1) que citaram uma coordenada específica ou apontaram a presença em um país ou região. Quando houve confirmação de presença, mas sem coordenada citada, foi tomado somente um ponto dessa localidade fora de acidentes geográficos e em lugares que por imagens de satélite demonstravam haver ocupação humana, pois *A. spiniferus* é muito dependente de plantas cultivadas para seu estabelecimento, principalmente plantas de citros. Esses pontos passaram a compor os registros de ocorrência da espécie que foram 72 ao todo, englobando áreas nativas e invadidas.

Para garantir a qualidade dos dados, foram seguidas metodologias estabelecidas (Elith & Franklin, 2013; Ribeiro et al., 2023; Zizka et al., 2019). Foram mantidos registros com resolução espacial ≤ 1 km, excluindo ocorrências próximas a centros de capitais e localizações administrativas. Registros duplicados e errôneos (por exemplo, coordenadas zero) ou registros sem variáveis ambientais associadas, também foram removidos. Os dados biológicos georreferenciados disponíveis são limitados pela falta de precisão que é causada geralmente devido a erros nos processos de georreferenciamento (Murphy et al., 2004) e à identificação incorreta de espécies (Scott & Hallam, 2003). Se não forem mitigadas, essas imprecisões podem distorcer os resultados de análises como a modelagem de distribuição de espécies (Sporbert et al., 2019). Uma estimativa da precisão geográfica e taxonômica e do status biogeográfico das ocorrências, foi feita através de modelos lineares binomiais, com a utilização do pacote {bRacatus} (Arlé et al., 2021).

Tabela 1 - Informações de pontos de presença confirmados por fontes bibliográficas que foram utilizados para modelar a distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus*.

País	Localidade (Estado; Cidade ou Ilha)	Tipo	Latitude e Longitude	Fonte bibliográfica
África do Sul	Barberton	Introduzida	-25,76238 31,0499	Van Den Berg, M. A. & Greenland, J. (1996)

África do Sul	Nelspruit	Introduzida	-25,47529 30,96939	Van Den Berg, M. A. & Greenland, J. (1996)
África do Sul	White River	Introduzida	-25,33007 31,01514	Van Den Berg, M. A. & Greenland, J. (1996)
África do Sul	Graskop	Introduzida	-24,93374 30,84062	Van Den Berg, M. A. & Greenland, J. (2001)
África do Sul	Tzaneen	Introduzida	-23,83623 30,13571	Van Den Berg, M. A. & Greenland, J. (2001)
Albânia	Sem informa- ções	Introduzida	39,73333 20,01666	Nugnes, F., et al. (2020)
Australia	Northern Ter- ritory	Introduzida	-12,376 130,88277	EPPO (2024)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-19,215 146,775	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-27,5117 152,9967	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-20,2667 148,7167	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-26,3833 153,1	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-16,8751 145,7575	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-13,9414 143,2033	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-12,4333 130,9167	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-33,972 151,2295	GBIF (2026)

Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-13,7833 136,2167	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-33,972 151,2295	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-27,1031 152,5574	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-20,0167 148,25	GBIF (2026)
Australia	Sem informa- ções	Introduzida	-25,9 153,0833	GBIF (2026)
Bangladesh	<i>Sem informa- ções</i>	Nativa	23,80397 90,41529	EPPO (2024)
China	Anhui	Nativa	31,5 115,98333	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Chongqing	Nativa	29,3 105,98333	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Fujian	Nativa	27,63333 117,91667	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Guizhou	Nativa	27,65 107,6	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Hunan	Nativa	28,18333 113,08333	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Jiangsu	Nativa	32,41667 119,4	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Shandong	Nativa	34,71667 117,28333	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Yunnan	Nativa	25,11667 102,73333	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Guangxi Baise	Nativa	24,35 106,55	Tang, X.-T., et al. (2015)
China	Zhejiang	Nativa	30,16667 120,08333	Tang, X.-T., et al. (2015)

eSwatini	Big BendTjaneni	Introduzida	-26,79112 31,93739- 26,00141 31,75943	Van Den Berg, M. A. & Greenland, J. (2001)Van Den Berg, M. A., et al. (2000)
eSwatini	Tjaneni	Introduzida	-26,00141 31,75943	Van Den Berg, M. A., et al. (2000)
Filipinas	Manila	Nativa	14,59398 121,1452	Malaysia (2007)
França	<i>Sem informações</i>	Introduzida	43,77364 4,28432	Streito, J.-C., et al. (2023)
Grécia	Corfu	Introduzida	39,62294 19,92022	Kapantaidaki, D. E., et al. (2019)
Grécia	Perama	Introduzida	39,57772 19,91021	Kapantaidaki, D. E., et al. (2019)
Grécia	Kassiopi	Introduzida	39,78939 19,92286	Kapantaidaki, D. E., et al. (2019)
Índia	Ilhas Andaman e Nicobar	Nativa	11,62336 92,72651	Vasantharaj David, B. & Dubey A. K. (2006)
Índia	Pune	Nativa	18,52099 73,85527	Alexander Jesudas, R. W. & Vasantharaj David, B. (1991)
Indonésia	Java	Nativa	-7,61454 110,71222	RADONJIĆ, S., et al. (2014)
Indonésia	Sumatra	Nativa	3,59327 98,66887	CABI, & EPPO. (2018)
Iran	<i>Sem informações</i>	Introduzida	38,47408 47,06065	Ghahari, H., et al. (2011)
Itália	Taranto	Introduzida	40,4621 17,26893	Nugnes, F., et al. (2020)

Itália	Salerno	Introduzida	40,68132 14,77436	Nugnes, F., et al. (2020)
Itália	Bari	Introduzida	41,11715 16,872	Nugnes, F., et al. (2020)
Itália	Brindisi	Introduzida	40,6328 17,94189	Nugnes, F., et al. (2020)
Itália	Lecce	Introduzida	40,35173 18,17485	Nugnes, F., et al. (2020)
Itália	Cantazaro	Introduzida	38,90971 16,58788	Rapisarda, C., & Longo, S. (2021)
Itália	Sicilia/Catânia	Introduzida	37,50785 15,08303	Rapisarda, C., & Longo, S. (2021)
Japão	Ashikita	Introduzida	32,2987 130,495	Kanmiya, K., et al. (2011)
Japão	Chikugo	Introduzida	33,21238 130,50177	Kanmiya, K., et al. (2011)
Japão	Seyo	Introduzida	33,36201 132,51106	Kanmiya, K., et al. (2011)
Japão	Kyoto	Introduzida	35,01126 135,76809	Kanmiya, K., et al. (2011)
Japão	Shizuoka	Introduzida	34,97793 138,38306	Andrianto, E., & Kasai, A. (2023)
Japão	Shizuoka	Introduzida	34,45313 135,3616	GBIF (2026)
Montenegro	Herceg Novi	Introduzida	42,45709 18,53083	RADONJIĆ, S., et al. (2014)
Myanmar	<i>Sem informa- ções</i>	Nativa	16,841 96,17355	Vasantharaj David, B., & Dubey, A. K. (2012)
Paquistão	<i>Sem informa- ções</i>	Nativa	31,15037 72,68121	Tayyib, M., et al. (2014)
Singapura	<i>Sem informa- ções</i>	Nativa	1,27919 103,7981	GBIF (2026)

Sri Lanka	<i>Sem informações</i>	Nativa	6,92705 79,86136	EPPO (2024)
Tailândia	<i>Sem informações</i>	Nativa	13,75664 100,50181	EPPO (2024)
Tailândia	<i>Sem informações</i>	Nativa	13,74512 100,4643	THAILAND (2013)
Taiwan	Chiayi	Nativa	23,46151 120,5646	Kumar Dubey, A., & C. -C. (2012)
Taiwan	Xindian	Nativa	24,97966 121,53338	Kumar Dubey, A., & C. -C. (2012)

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Após a limpeza dos dados, restaram 65 pontos. Para refinar ainda mais o conjunto de dados e minimizar a autocorrelação espacial, foi aplicado um filtro geográfico considerando uma distância de 4,5 km entre ocorrências, considerando a seleção da distância mais adequada para o conjunto de dados (Aiello-Lammens et al., 2015; Velazco et al., 2022), resultando em 63 registros (áreas nativas: 23; áreas invadidas: 40).

Dados climáticos globais de temperatura máxima mensal média, temperatura mínima mensal média e precipitação acumulada, referentes à série histórica de 1970–2000 foram obtidos a partir do WorldClim 2.1 e complementadas com o período de 2000 a 2021, nas resoluções espaciais de 2,5 minutos e 30 segundos. Com base nessas séries mensais complementares, foi derivado, para cada resolução, um conjunto de 19 variáveis bioclimáticas por meio da função `bcvars` do pacote `{predicts}` (Hijmans, 2025), seguindo a metodologia estabelecida por Fick e Hijmans (2017). Essas variáveis foram utilizadas e atualizadas para representar as condições climáticas atuais, por sintetizarem tendências anuais, sazonalidade e extremos climáticos relevantes para a distribuição geográfica das espécies (Fick; Hijmans, 2017; O'Donnell; Ignizio, 2012). As variáveis bioclimáticas consideradas neste estudo estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição das 19 variáveis bioclimáticas obtidas a partir WorldClim 2.1.

Abreviatura	Descrição da variável bioclimática
Bio01	Temperatura média anual
Bio02	Variação média diurna de temperatura
Bio03	Isotermalidade
Bio04	Sazonalidade da temperatura
Bio05	Temperatura máxima do mês mais quente
Bio06	Temperatura mínima do mês mais frio
Bio07	Amplitude anual da temperatura
Bio08	Temperatura média do trimestre mais úmido
Bio09	Temperatura média do trimestre mais seco
Bio10	Temperatura média do trimestre mais quente
Bio11	Temperatura média do trimestre mais frio
Bio12	Precipitação anual
Bio13	Precipitação do mês mais úmido
Bio14	Precipitação do mês mais seco
Bio15	Sazonalidade da precipitação
Bio16	Precipitação do trimestre mais úmido
Bio17	Precipitação do trimestre mais seco
Bio18	Precipitação do trimestre mais quente
Bio19	Precipitação do trimestre mais frio

Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Fick e Hijmans (2017).

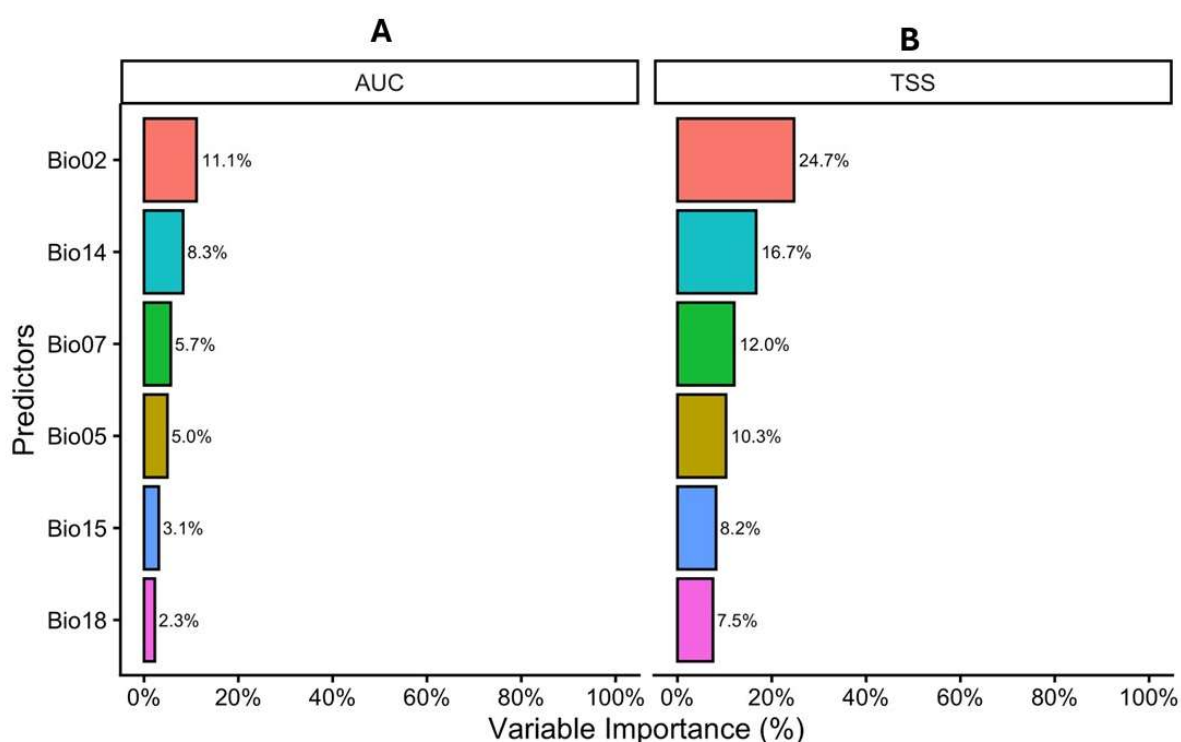
A adoção inicial das 19 variáveis bioclimáticas justifica-se por sua ampla aplicação em modelagem de nicho ecológico e por sua capacidade de representar diferentes dimensões climáticas potencialmente associadas aos limites fisiológicos e ecológicos das espécies. Entretanto, a escolha das variáveis preditoras constitui uma etapa determinante para a precisão do modelo, uma vez que o uso simultâneo de variáveis altamente correlacionadas pode comprometer a interpretação ecológica dos resultados, aumentar a complexidade do ajuste e reduzir a capacidade preditiva do modelo projetado (Dormann et al., 2013; Jiménez-Valverde et al., 2009).

Para reduzir problemas de colinearidade entre as variáveis preditoras, especialmente considerando a necessidade de projeção do modelo, foi executada uma seleção entre as 19 variáveis inicialmente definidas, utilizando-se um processo

iterativo (*data-driven*) a partir de ajustes e refinamentos de modelos Maxent durante a etapa de modelagem (Vignali et al., 2020). As variáveis resultantes desse procedimento foram então avaliadas quanto à sua importância no modelo, com base na importância por permutação (permutation importance), enquanto o desempenho dos ajustes sucessivos foi acompanhado por métricas de avaliação, como AUC e TSS (Figura 1 A, B).

Das 19 variáveis ambientais, 6 foram retidas para o modelo final, que são Bio02 – Variação média diurna de temperatura; Bio05 – Temperatura máxima do mês mais quente; Bio7 – Amplitude anual da temperatura; Bio14 – Precipitação do mês mais seco; Bio15 – Sazonalidade da precipitação; Bio18 - Precipitação do trimestre mais quente (Figura 1 A, B).

Figura 1 A, B - Importância por permutação das variáveis ambientais retidas no modelo Maxent para prever a distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus*. (A) AUC, área sob a curva; (B) TSS, estatística de habilidade verdadeira.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

A área de calibração (AC) foi definida seguindo a estrutura de Movimento-Biótico-Abiótico (MBA), que considera regiões acessíveis a uma espécie com base em sua capacidade de dispersão, interações bióticas e condições ambientais (Elith et al. 2010; Owens et al. 2013; Phillips et al. 2009). A AC foi delineada usando as

classificações climáticas de Köppen–Geiger (Kottek et al. 2006; Brunel et al. 2010; Beck et al. 2018), abrangendo tanto regiões nativas quanto invadidas para capturar todo o nicho ambiental. Essa área cobriu aproximadamente 54.930.520 km².

A caracterização das ocorrências em classes climáticas de Köppen-Geiger foi posteriormente utilizada também para fins descritivos e interpretativos dos resultados, especialmente na comparação entre áreas nativas e invadidas.

O particionamento dos dados para avaliação do desempenho do modelo foi feito através do uso de validação cruzada em blocos espaciais (spatial block cross-validation) com cinco blocos. Esse método permite controlar a autocorrelação espacial potencial entre dados de treinamento e de teste do modelo e avaliar sua transferibilidade de forma mais adequada, comparativamente a outros métodos de particionamento (Roberts et al., 2017; Valavi et al., 2019). Métodos de particionamento de dados geograficamente estruturados são especialmente úteis para avaliar a transferibilidade de modelos para diferentes regiões ou períodos de tempo (Roberts et al., 2017; Santini et al., 2021).

Para selecionar o melhor tamanho de grade (blocos quadrados, semelhantes ao esquema checkboard) foram geradas 20 grades com resoluções variando de 0,5 (~56 km) a 5 graus (~557 km), em cinco partições, com um mínimo de cinco ocorrências por partição, utilizando-se 100% das ocorrências para teste de autocorrelação, sendo selecionada aquela com: a) a menor autocorrelação espacial, pelo Índice de Moran; b) a máxima similaridade ambiental, considerando a distância Euclidiana; e, c) a diferença mínima de quantidade de registros entre dados de treinamento e teste, dada pelo desvio padrão (Velazco et al., 2019).

O desempenho do modelo foi avaliado usando várias métricas, incluindo a área sob a curva da curva característica de operação do receptor (AUC-ROC), estatística de habilidade verdadeira (TSS) e importância da permutação. A validação foi realizada por meio de validação cruzada de blocos espaciais para garantir robustez e evitar vieses de autocorrelação espacial (Roberts et al. 2017).

Para estimar a vulnerabilidade econômica dos municípios brasileiros à *A. spiniferus*, realizamos um zoneamento de risco econômico utilizando o conjunto de dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025). Foram realizadas as seguintes etapas em semelhança ao procedimento utilizado por Amaro et al. (2025):

(a) cálculo dos valores totais de produção para o Brasil e todos os municípios com base na principal cultura hospedeira plantada no Brasil (laranja);

(b) cálculo dos índices de especialização, incluindo o Quociente de Localização (QL), o Índice de Participação Relativa (PR) e o Índice Hirschman-Herfindahl (IHH) (Crocco et al. 2006);

(c) Padronização Z-Score de todos os indicadores (média=0 e desvio padrão=1);

(d) Análise de Componentes Principais (PCA) para derivar pesos (θ_1 , θ_2 , θ_3) para os indicadores; e

(e) cálculo do Índice de Concentração Normalizado (ICn).

O Quociente de Localização (QL) mede a concentração ou dispersão espacial da produção entre regiões (municípios), comparando a proporção de um setor específico da produção de um produto em um município com a participação nacional desse produto:

$$QL_{ij} = \left(\frac{V P_{ij}}{V P_j} \right) / \left(\frac{V P_{iBR}}{V P_{BR}} \right)$$

Onde:

$V P_{ij}$ é o valor da produção do produto i no município j ,

$V P_j$ é o valor total da produção agrícola do município j ,

$V P_{iBR}$ é o valor total da produção do produto i no Brasil, e

$V P_{BR}$ é o valor total da produção agrícola no Brasil.

O IHH mede o peso da produção de um produto específico na estrutura agrícola de um município:

$$IHH_{ij} = \left(\frac{VP_{ij}}{VP_{iBR}} \right) - \left(\frac{VP_j}{VP_{BR}} \right)$$

O PR captura a importância relativa da produção agrícola municipal de um produto comparado com a produção nacional.

$$PR_{ij} = \frac{VP_{ij}}{VP_{iBR}}$$

Um Índice de Concentração normalizado (ICn) é derivado como uma combinação linear dos indicadores anteriores, levando em conta suas diferentes capacidades de representar forças de aglomeração:

$$ICn_{ij} = \theta_1 QL_{ij} + \theta_2 PR_{ij} + \theta_3 IHH_{ij}$$

Para classificar a vulnerabilidade econômica, os valores de ICn foram agrupados em cinco classes usando o algoritmo de intervalos naturais de Fisher-Jenks (Fisher 1958; Slocum et al. 2022), que otimiza a homogeneidade das classes. Valores mais altos de ICn indicam maior dependência econômica desses municípios com relação à produção de laranja, portanto, maior risco. Por fim, o risco econômico foi estimado usando a fórmula:

$$\text{Risco} = \text{ICn} \times \text{Probabilidade de Ocorrência}$$

Onde a probabilidade de ocorrência de pragas foi derivada do modelo de adequabilidade ambiental gerado pelo Maxent no programa R

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de máxima entropia apresentou desempenho preditivo satisfatório para a estimativa da distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus*, com AUC de 0,860 e TSS de 0,697. O modelo também alcançou um bom valor no CBI de 0,735, que é muito útil para avaliar os pontos de presença nas áreas de maior adequabilidade da praga (Hirzel et al., 2006) e baixa taxa de omissão (OR/UPR = 0,049), conforme a Tabela 2. Sob a perspectiva da defesa fitossanitária, a baixa taxa de omissão é especialmente relevante, uma vez que a falha em reconhecer áreas potencialmente favoráveis pode retardar a detecção e favorecer o estabelecimento silencioso da praga (Allouche et al., 2006; Hirzel et al., 2006; Václavík & Meentemeyer, 2009; Venette et al., 2010).

Tabela 3 - Métricas de avaliação do desempenho do modelo Maxent para prever a distribuição potencial de *Aleurocanthus spiniferus*.

Métricas	Valores
Taxa de Positividade Verdadeira, Sensibilidade ou Recordação (TPR)	0.95111
Taxa de Verdadeiros Negativos (TNR)	0.74590
Estatística de Habilidade Verdadeira (TSS)	0.69701
Índice de Sorensen	0.05172
Índice de Jaccard	0.02664
Medida F sobre Presença-Fundo (FPB)	0.05329
Taxa de Omissão, Falso Negativo ou Subpredição (OR/UPR)	0.04889
Índice Contínuo de Boyce (CBI)	0.73482
Área sob a Curva ROC (AUC)	0.86049
Área sob Curva de Precisão/Recordação (AUCPR)	0.03676
Erro Absoluto Médio Inverso (1-MAE)	0.81992
Taxa de Falsos Positivos (FPR)	0.25410
Precisão Balanceada	0.84850
Erro Médio-Quadrático (RMSE)	0.30805
Desvio padrão preditivo médio (PSD médio)	0.23799
Presença Mínima de Treinamento (MTP)	0.01274
10% de Presença Mínima de Treinamento (10MTP)	0.11238

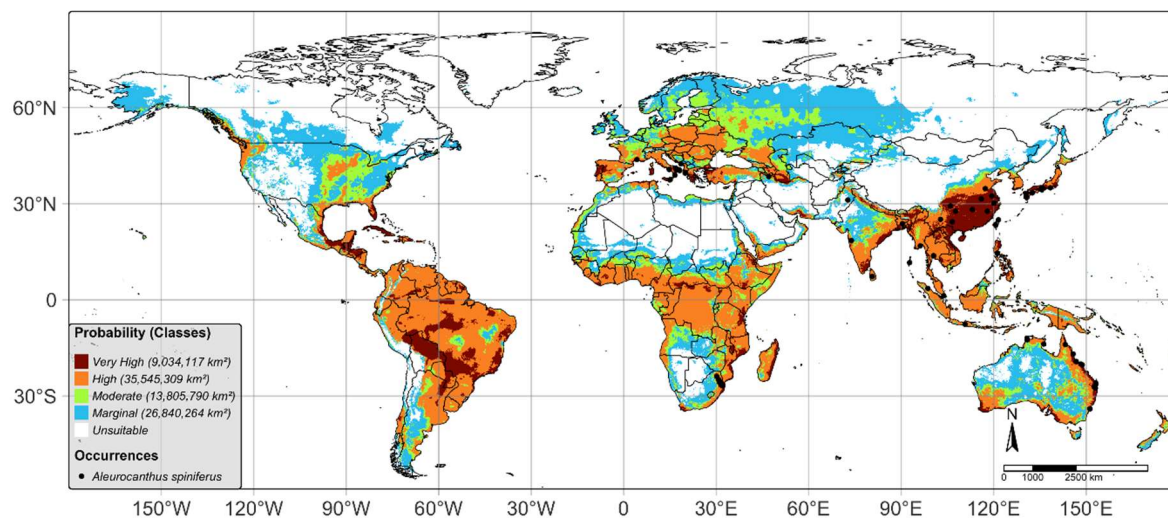
Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

As projeções globais indicam que a adequabilidade climática de *A. spiniferus* se estende muito além de sua distribuição atualmente conhecida, abrangendo extensas áreas das Américas, da África e da Europa, além de regiões adicionais da Ásia. Os níveis de adequação foram classificados em cinco categorias: inadequada (unsuitable), marginal (marginal), moderada (moderate), alta (high) e muito alta (very high). A distribuição espacial dessas classes de adequação é apresentada na Figura 2.

Ressalta-se que essas classes de adequabilidade devem ser interpretadas com cautela, pois elas são propostas baseadas em uma superfície contínua de adequabilidade ambiental. Assim, as categorias “inadequada”, “marginal”, “moderada”, “alta” e “muito alta” representam faixas de um gradiente contínuo de favorabilidade, adotadas para facilitar a visualização e a interpretação cartográfica dos resultados.

Em modelos de distribuição de espécies, a transformação dessa superfície contínua em classes discretas ou em mapas binários depende da escolha de limiares, que constituem decisões metodológicas e podem alterar substancialmente a área considerada adequada. Desse modo, áreas com baixa adequabilidade não devem ser entendidas como totalmente inaptas ao estabelecimento de *A. spiniferus*, mas como regiões de menor favorabilidade relativa, nas quais a ocorrência da espécie permanece probabilística e condicionada à combinação entre clima, disponibilidade de hospedeiros e oportunidades de introdução e dispersão (Liu et al., 2013; Elith et al., 2011; Phillips et al., 2017).

Figura 2 - Ocorrência atual de *Aleurocanthus spiniferus* (pontos pretos) e sua adequabilidade global potencial.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

Diante do exposto, o mapa da Figura 2 apresenta o habitat de adequabilidade muito alta estimado em aproximadamente 9.034.117 km² e a soma de todas as áreas que apresentaram algum tipo de adequabilidade alcança 85.225.480 km². Considerando que o total de áreas emersas no planeta é de 148.940.000 km² (Martínez et al., 2007), então 57,22% possui algum grau de adequabilidade para a praga.

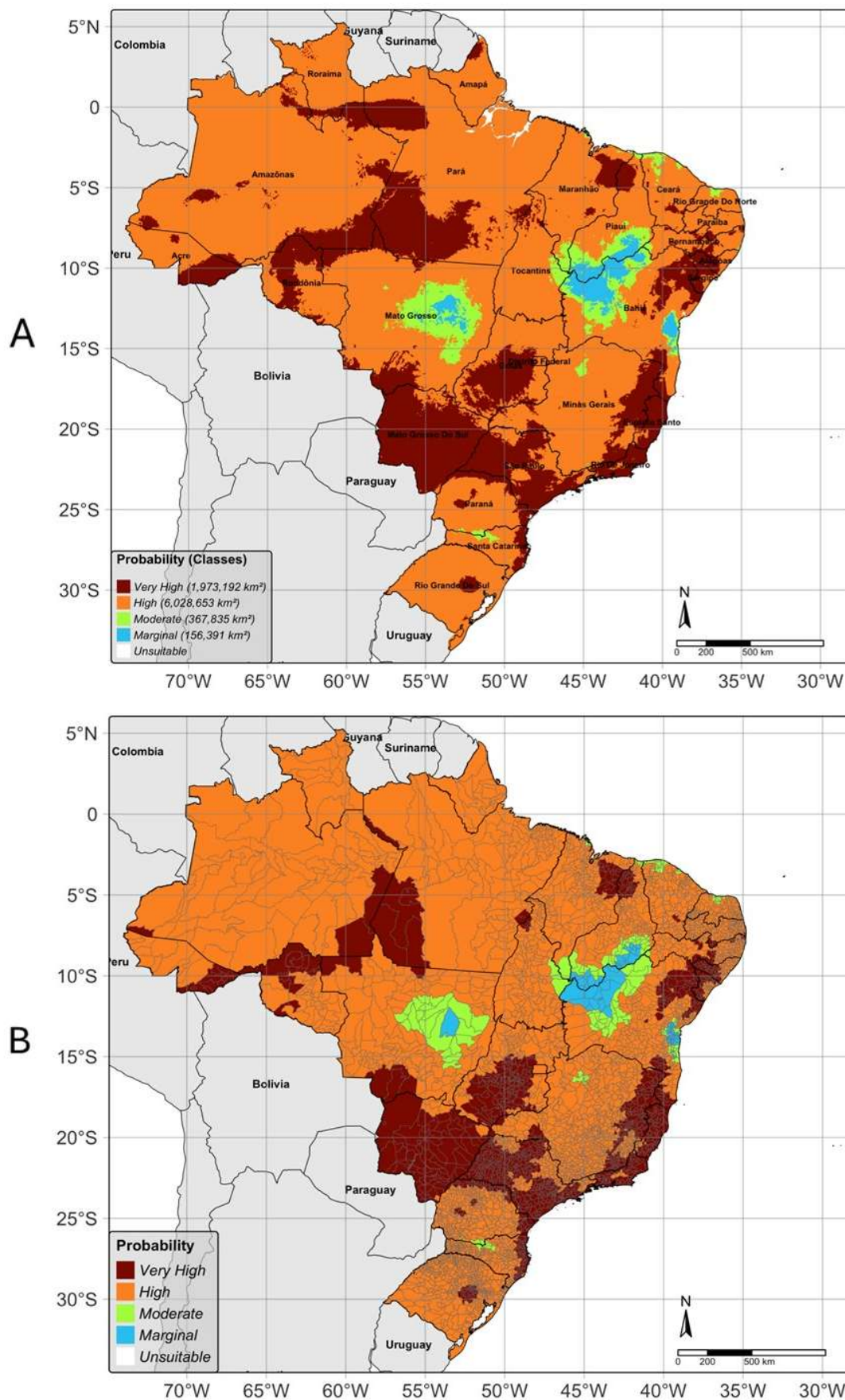
Esse resultado de potencial distribuição se torna crítico pelo comportamento da espécie que é polífaga e possui estreita associação com ambientes antropizados e pelo papel que o transporte de plantas hospedeiras ocasiona na dispersão de pragas a longas distâncias (Jansen & Porcelli, 2018; Nugnes et al., 2020). Isso favorece o acesso e estabelecimento de *A. spiniferus* em novas áreas.

No Brasil, os habitats adequados para *A. spiniferus* estão distribuídos de forma heterogênea em todas as regiões do país (Figura 3A). Observa-se, ainda, que todo o território brasileiro apresenta algum nível de adequabilidade, sendo que aproximadamente 1.973.192 km², correspondentes a 23,14% da área nacional, foram classificados como muito adequados para a praga.

A fim de representar esse padrão em escala municipal e tornar o mapa mais aplicável à gestão e análise de risco fitossanitário foi gerado o mapa da Figura 3B baseado nos dados de adequabilidade apresentados na Figura 3A. Para isso, os valores de adequabilidade contidos na área de cada município foram resumidos por

meio da mediana, de modo que cada município fosse representado pelo seu valor majoritário de adequabilidade.

Figura 3 – Adequabilidade potencial de *Aleurocanthus spiniferus* (A) para o Brasil e (B) para os municípios do Brasil.

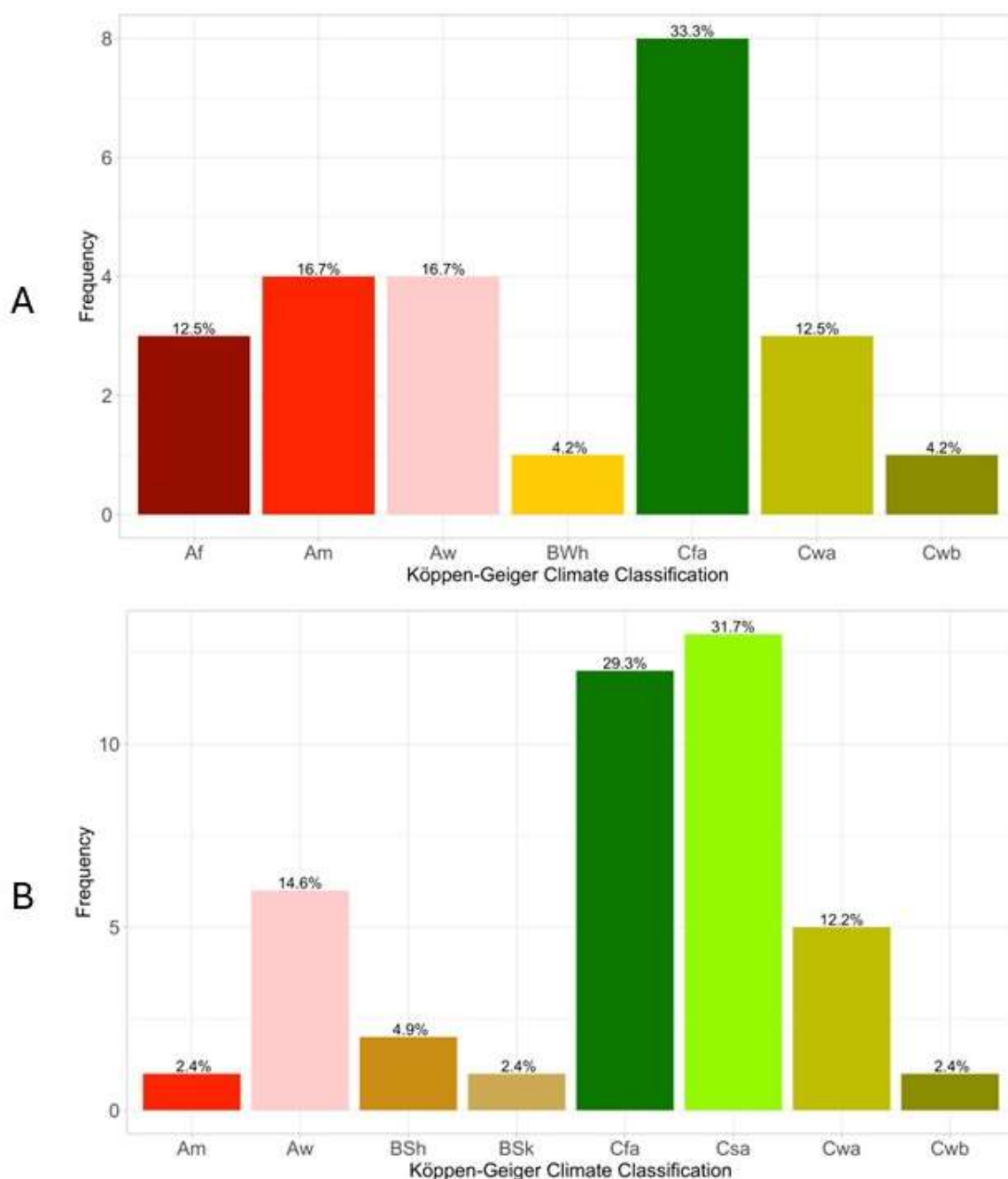


Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

A comparação entre as classes climáticas de Köppen-Geiger registradas em áreas nativas e invadidas sugere que a espécie não está restrita a um único contexto climático e pode ocupar ambientes distintos daqueles em que se tornou inicialmente conhecida, o que pode refletir ampliação do nicho realizado, maior disponibilidade de hospedeiros e microambientes favoráveis (Figura 4). Essa interpretação deve ser feita com cautela, pois deslocamentos aparentes de nicho em espécies invasoras podem resultar tanto de adaptação quanto de efeitos de amostragem, não equilíbrio e acesso a novas combinações ambientais (Broennimann et al., 2007; Barbet-Massin et al., 2018).

Ainda assim, a expansão recente de *A. spiniferus* na Europa e as evidências experimentais de tolerância ao frio em estágios ninfais mais avançados reforçam a hipótese de que a espécie possui plasticidade suficiente para se estabelecer em regiões subtropicais e temperadas, desde que outros fatores limitantes não impeçam sua persistência (Nugnes et al., 2020; Jia et al., 2025).

Figura 4 - Adequabilidade de *Aleurocanthus spiniferus* em diferentes classificações climáticas de Köppen-Geiger. Em (A) áreas nativas e (B) áreas invadidas.



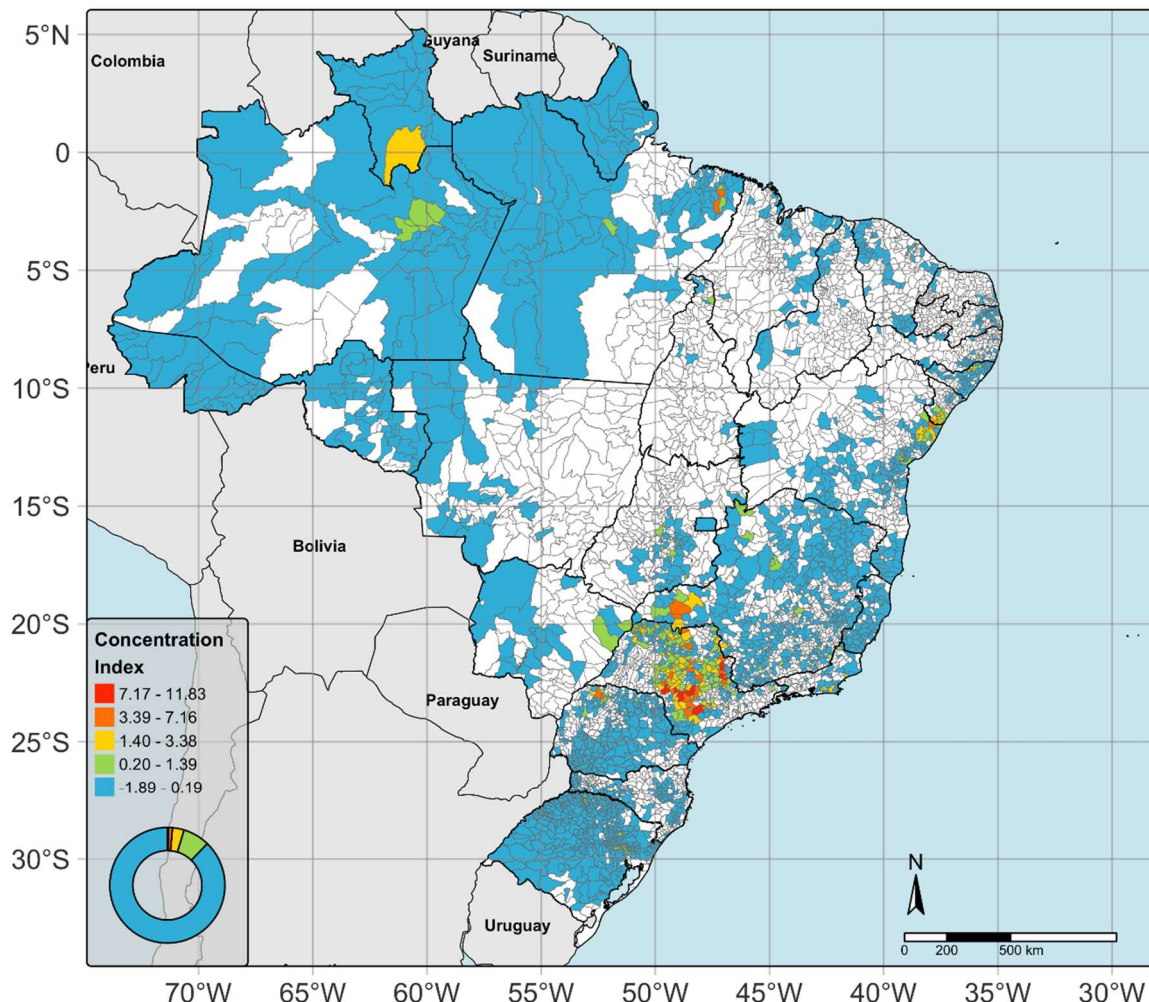
Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

A distribuição espacial da concentração da produção de laranja no Brasil é apresentada na Figura 5. Os valores do Índice de Concentração Normalizado (ICn) variaram de -1,89 a 11,83, evidenciando forte heterogeneidade espacial na importância relativa da cultura entre os municípios. Valores positivos de ICn indicam concentração relativa acima da média ponderada da atividade, enquanto valores

negativos correspondem a menor relevância relativa da cultura. Para fins de representação cartográfica, os valores foram agrupados em cinco classes pelo método de quebras naturais de Fisher-Jenks, amplamente utilizado por minimizar a variabilidade intraclasse e maximizar a diferenciação entre classes. (Crocco et al., 2006; Fisher, 1958; Slocum et al., 2022).

Dessa forma, identificou-se que dos 5.570 municípios brasileiros (Abdalla, et al., 2022), 289 municípios apresentaram $ICn > 0,2$ e que 177 deles se concentram em São Paulo, estado que também reuniu todos os 7 municípios com a mais alta concentração produtiva $ICn > 7,17$. Isto mostra que a produção de laranja no Brasil apesar de ocorrer em praticamente todos os municípios tem uma concentração econômica em poucos deles, onde a diversificação produtiva é pequena e o ICn é elevado. Seguindo esta lógica, o oposto da especialização da produção é a diversificação dela (Czyżewski, & Smędzik-Ambroży, 2015). Neste sentido, municípios muito especializados possuem também um risco maior de suas atividades agrícolas por apresentarem uma dependência econômica muito alta sobre elas (Paut et al., 2019)

Figura 5 - Concentração espacial da produção de laranjas no Brasil, apresentado como índice normalizado (ICn). Os gradientes de cor variam de azul/verde (menor concentração) até laranja/vermelho (maior concentração). Os municípios em branco não possuem produção.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

A análise do risco econômico apresentada na Figura 6, mostrou que 85 municípios apresentaram risco 4 (muito alto) e que 64 deles são do Estado de São Paulo (Tabela 4). Portanto, a concentração do risco em São Paulo não decorre apenas da grande área plantada, mas da combinação entre elevada especialização econômica e condições climáticas favoráveis ao estabelecimento da praga, uma vez que a Figura 6 apresenta o risco da produção de laranja por município, baseado num cruzamento dos valores de adequabilidade potencial de *A. spiniferus* (Figura 3B) com o ICn na forma de uma matriz de risco (Figura 7).

Tabela 4 - Relação dos 85 municípios produtores de laranja e seus estados que apresentaram o risco econômico classe número 4 (muito alto). em função do ICn e da adequabilidade de *Aleurocanthus spiniferus*.

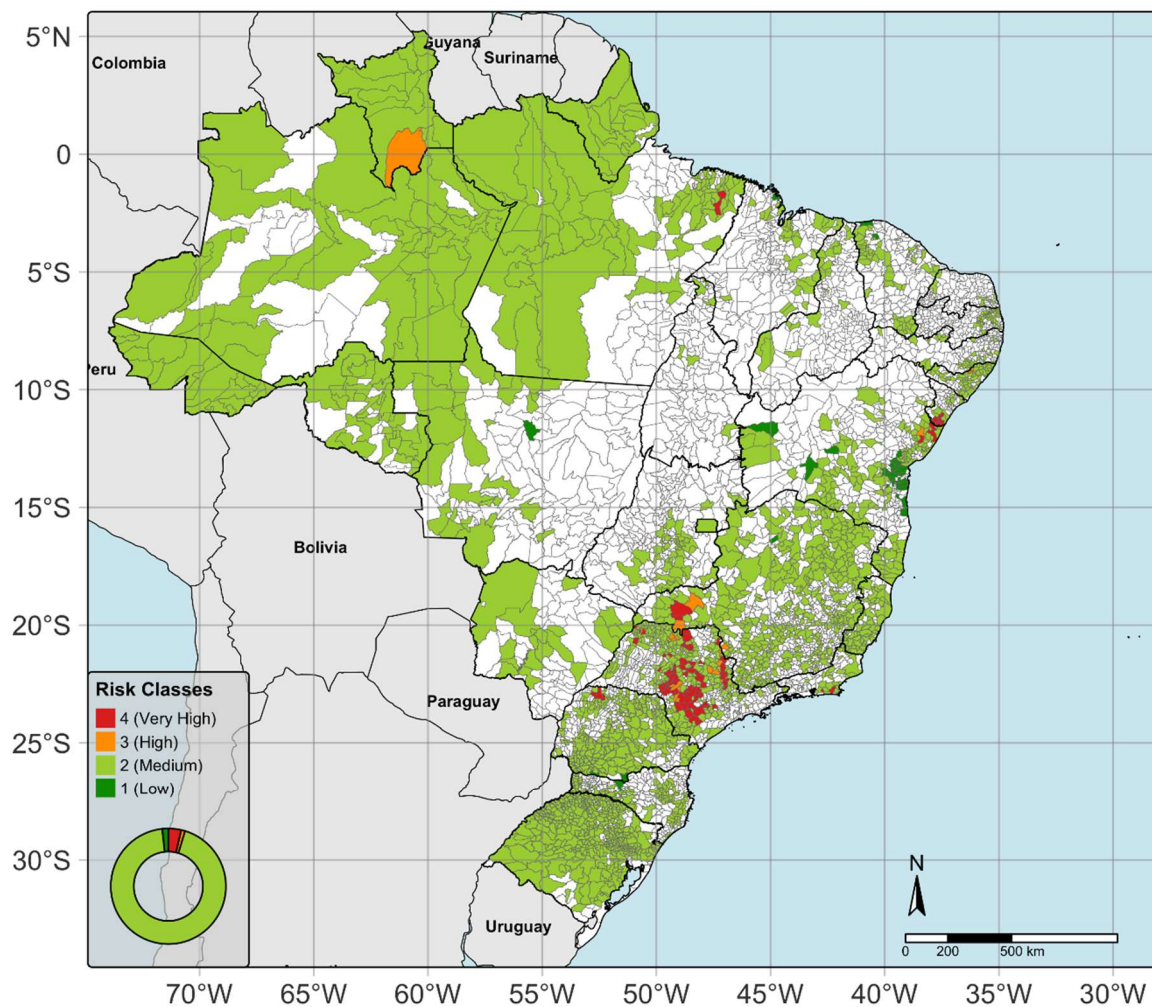
Município	Estado	Município	Estado
Adolfo	SP	Itatinga	SP
Aguai	SP	Itaí	SP
Águas de Santa Bárbara	SP	Itápolis	SP
Alagoinhas	BA	Jaguariúna	SP
Alto Paraná	PR	Jales	SP
Angatuba	SP	Lucianópolis	SP
Anhembi	SP	Matão	SP
Araruama	RJ	Mococa	SP
Arauaá	SE	Mogi Guaçu	SP
Avaré	SP	Mogi Mirim	SP
Avaí	SP	Monte Azul Paulista	SP
Bariri	SP	Paranapanema	SP
Barretos	SP	Paranavaí	PR
Bauru	SP	Patrocínio Paulista	SP
Bebedouro	SP	Pedrinhas	SE
Boa Esperança do Sul	SP	Pirajuí	SP
Bofete	SP	Piratininga	SP
Boquim	SE	Prata	MG
Botucatu	SP	Pratânia	SP
Brotas	SP	Presidente Alves	SP
Buri	SP	Reginópolis	SP
Cabrália Paulista	SP	Ribeirão Bonito	SP
Cajobi	SP	Rincão	SP
Capela do Alto	SP	Rio Real	BA
Capitão Poço	PA	Salgado	SE
Capão Bonito	SP	Santa Clara D'oeste	SP
Casa Branca	SP	Santa Cruz do Rio Pardo	SP
Colômbia	SP	Santa Luzia do Itanhy	SE
Comendador Gomes	MG	Santa Salete	SP
Conchas	SP	Santo Antônio de Posse	SP

Tabela 4 - Relação dos 85 municípios produtores de laranja e seus estados que apresentaram o risco econômico classe número 4 (muito alto). em função do ICn e da adequabilidade de *Aleurocanthus spiniferus*.

Município	Estado	Município	Estado
Cristinápolis	SE	Severínia	SP
Duartina	SP	Sorocaba	SP
Esplanada	BA	Sud Mennucci	SP
Espírito Santo do Turvo	SP	São Manuel	SP
Gavião Peixoto	SP	São Pedro	SP
Guaimbê	SP	São Pedro do Turvo	SP
Guairaçá	PR	Tanguá	RJ
Iaras	SP	Taquaral	SP
Ibitinga	SP	Tatuí	SP
Indiaroba	SE	Tomar do Geru	SE
Irapuã	SP	Ubirajara	SP
Itabaianinha	SE	Umbaúba	SE
Itapetininga	SP		

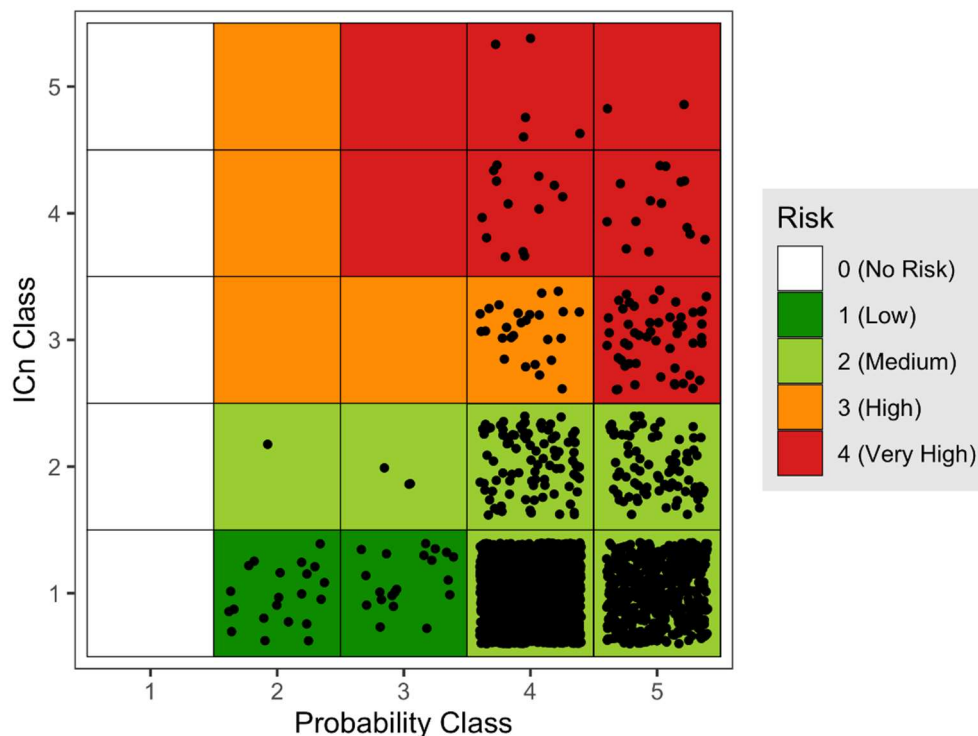
Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

Figura 6 - Risco econômico para os municípios brasileiros produtores de laranja em função do ICn e da adequabilidade de *Aleurocanthus spiniferus*.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

Figura 7 – Matriz de risco que embasa o mapa da Figura 5 e relaciona o ICn e a probabilidade de adequação de *Aleurocanthus spiniferus* aos municípios brasileiros.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor, com base em Maxent.

O zoneamento de risco econômico permitiu identificar municípios na classe de risco muito alto, evidenciando as áreas prioritárias para vigilância fitossanitária. A predominância desses municípios em importantes polos citrícolas reforça que a utilidade do modelo não está apenas em indicar onde a praga pode se estabelecer, mas também em apontar onde sua introdução teria maior potencial de comprometer a produção, a renda agrícola e a estabilidade econômica local. Assim, a integração entre modelagem de nicho ecológico e indicadores territoriais de especialização produtiva mostrou-se uma ferramenta aplicada de grande relevância para a defesa fitossanitária, contribuindo para o planejamento de ações preventivas, para a alocação mais eficiente de recursos públicos e para a proteção econômica dos produtores de laranja. (Bragard et al., 2018; Venette et al., 2010; Amaro et al., 2025).

5 CONCLUSÕES

Os resultados da modelagem preditiva de *A. spiniferus* indicaram que a adequabilidade para o cenário climático atual se estende para além da distribuição atualmente reportada, evidenciando amplo potencial de estabelecimento em diferentes regiões do mundo. Esses achados reforçaram o já conhecido potencial invasivo de *A. spiniferus* e também destaca a importância do uso de ferramentas preditivas na antecipação de áreas vulneráveis à introdução de pragas quarentenárias ausentes.

No Brasil, a modelagem indicou que a adequabilidade ambiental para *A. spiniferus* está presente em todo o território, embora de forma heterogênea, com áreas de maior favorabilidade concentradas em diferentes regiões do país. A área classificada como muito adequada foi estimada em 1.973.192 km². Esse resultado evidencia que, caso introduzida, a espécie poderá encontrar condições climáticas favoráveis em extensas áreas, o que amplia a relevância da vigilância fitossanitária preventiva e do monitoramento direcionado em regiões estratégicas.

O ICn indicou concentração econômica da produção de laranja em um conjunto pequeno de municípios, somente 7 estão no nível mais elevado de ICn, todos pertencentes ao Estado de São Paulo. Ao serem combinados os dados do ICn com a probabilidade de ocorrência de *A. spiniferus* estimada pelo Maxent, resultou em um mapa de risco econômico onde 85 municípios foram classificados na categoria de risco mais elevado, sendo 64 deles localizados no estado de São Paulo. Esses municípios devem ser priorizados em ações de defesa sanitária.

Sugere-se para novas pesquisas, incorporar cenários climáticos futuros e avaliar o impacto econômico em diferentes países sob diferentes culturas hospedeiras. Recomenda-se também refazer a modelagem preditiva caso a praga avance para novos habitats para aumentar a eficiência do modelo e possibilitar a compreensão de eventuais variações de tolerância ambiental. Em síntese, a abordagem integrada entre potencial de estabelecimento da praga e dependência econômica mostrou-se promissora para apoiar decisões e planejamentos de defesa fitossanitárias voltadas à produção de laranja no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, L., AUGUSTO, D. A., CHAME, M., DUFEK, A. S., CASTRO, L., & KREMPSE, E. (2022). **Statistically enriched geospatial datasets of Brazilian municipalities for data-driven modeling**. *Scientific Data*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01581-2>
- AIELLO-LAMMENS, M. E., BORJA, R. A., RADOSAVLJEVIC, A., VILELA, B., & ANDERSON, R. P. (2015). **spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models**. *Ecography*, 38(5), 541–545. <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>
- ALEXANDER JESUDASAN, R. W., & VASANTHARAJ DAVID, B. (1991). **Taxonomic studies on Indian Aleyrodidae (Insecta: Homoptera)**. *Oriental Insects*, 25(1), 231–434. <https://doi.org/10.1080/00305316.1991.10432232>
- ALLOUCHE, O., TSOAR, A., & KADMON, R. (2006). **Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS)**. *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- AMARO, G. C., AIDOO, O. F., SOUZA, P. G. C., NYARKO, E. S., ADJEI-MANTEY, K., AGBOYI, L. K., ANDERSON, R. S., SOSSAH, F. L., PICAÑO, M. C., & DA SILVA, R. S. (2025). **Global climate suitability and economic risks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* to key crops in Brazil**. *Food and Energy Security*, 14(5). <https://doi.org/10.1002/fes3.70120>
- ANDRIANTO, E., & KASAI, A. (2023). **Taxonomic revision of tribe Aleurocanthini Takahashi 1954 stat. rev. using consortium gene analysis (mito-nuclear-primary endosymbiont) with the first evidence for mitochondrial recombination in whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae)**. *Diversity*, 15, 80. <https://doi.org/10.3390/d15010080>
- ARLÉ, E., ZIZKA, A., KEIL, P., WINTER, M., ESSL, F., KNIGHT, T., WEIGELT, P., JIMÉNEZ-MUÑOZ, M., & MEYER, C. (2021). **bRacatus: A method to estimate the accuracy and biogeographical status of georeferenced biological data**. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(9), 1609–1619. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13629>
- BAUSHER, M. G., SINGH, N. D., LEE, S.-B., JANSEN, R. K., & DANIELL, H. (2006). **The complete chloroplast genome sequence of *Citrus sinensis*(L.) Osbeck var “Ridge Pineapple”**: organization and phylogenetic relationships to other angiosperms. *BMC Plant Biology*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2229-6-21>
- BECK, H. E., ZIMMERMANN, N. E., MCVICAR, T. R., VERGOPOLAN, N., BERG, A., & WOOD, E. F. (2018). **Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution**. *Scientific Data*, 5(5), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- BRAGARD, C., DEHNEN-SCHMUTZ, K., SERIO, F. D., GONTHIER, P., JACQUES, M., JACQUES, A., JUSTESSEN, A. F., MAGNUSSON, C. S., MILONAS, P., NAVAS-CORTES, J. A., PARNELL, S., POTTING, R., REIGNAULT, P. L., THULKE, H.-H., DER, V., CIVERA, A. V., YUEN, J., ZAPPALÀ, L., NAVARRO, M. N., & KERTESZ, V. (2018). **Pest categorisation of *Aleurocanthus* spp**. *EFSA*, 16(10).

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5436>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2023). **Projeções do agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33 projeções de longo prazo**; Secretaria de Política Agrícola. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/2023/producao-de-graos-brasileira-devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos/ProjeesdoAgronegcio20232033.pdf>

BROENNIMANN, O., TREIER, U. A., MÜLLER-SCHÄRER, H., THUILLER, W., PETERSON, A. T., & GUIBAN, A. (2007). **Evidence of climatic niche shift during biological invasion.** *Ecology Letters*, 10(8), 701–709. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01060.x>

BRUNEL, S., BRANQUART, E., FRIED, G., VAN VALKENBURG, J., BRUNDU, G., STARFINGER, U., BUHOLZER, S., ULUDAG, A., JOSEFFSON, M., & BAKER, R. (2010). **The EPPO prioritization process for invasive alien plants.** *EPPO Bulletin*, 40(3), 407–422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2010.02423.x>

BUBICI, G., PRIGIGALLO, M. I., GARGANESE, F., NUGNES, F., JANSEN, M., & PORCELLI, F. (2020). **First report of *Aleurocanthus spiniferus* on *Ailanthus altissima*:** Profiling of the insect microbiome and micrnas. *Insects*, 11(3), 161. <https://doi.org/10.3390/insects11030161>

CABI. Centre for Agriculture and Bioscience International, & EPPO. European and Mediterranean Plant Protection Organization. (2018). ***Aleurocanthus spiniferus*. [Distribution map].** *Distribution Maps of Plant Pests*. <https://doi.org/10.1079/dmpps/20173373942>

CIOFFI, M., CORNARA, D., CORRADO, I., GERARDUS, M., JANSEN, M., & PORCELLI, F. (2013). **The status of *Aleurocanthus spiniferus* from its unwanted introduction in Italy to date.** *Bulletin of Insectology*, 66(2), 273–281. <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol66-2013-273-281cioffi.pdf>

CROCCO, M. A., GALINARI, R., SANTOS, F., LEMOS, M. B., & SIMÕES, R. (2006). **Metodologia de identificação de aglomerações produtivas locais.** *Nova Economia*, 16(2), 211–241. <https://doi.org/10.1590/s0103-63512006000200001>

CZYŻEWSKI, A., & SMĘDZIK-AMBROŻY, K. (2015). **Specialization and diversification of agricultural production in the light of sustainable development.** *Journal of International Studies*, 8(2), 63–73. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2015/8-2/6>

DORMANN, C. F., ELITH, J., BACHER, S., BUCHMANN, C., CARL, G., CARRÉ, G., MARQUÉZ, J. R. G., GRUBER, B., LAFOURCADE, B., LEITÃO, P. J., MÜNKEMÜLLER, T., MCCLEAN, C., OSBORNE, P. E., REINEKING, B., SCHRÖDER, B., SKIDMORE, A. K., ZURELL, D., & LAUTENBACH, S. (2013). **Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance.** *Ecography*, 36(1), 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>

EL KENAWY, A. H., EL-HENEIDY, A. E.-H., CORNARA, D., RAPISARDA, C., & PORCELLI, F. (2016). ***Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance, 1903) an alien invasive Aleyrodidae threatening the Mediterranean area.** Atti del XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia.

ELITH, J., & FRANKLIN, J. (2013). **Species distribution modelling.**

- https://www.researchgate.net/publication/285884724_Species_distribution_modelling
- ELITH, J., PHILLIPS, S. J., HASTIE, T., DUDÍK, M., CHEE, Y. E., & YATES, C. J. (2010). **A statistical explanation of MaxEnt for ecologists**. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (n.d.). **Embrapa mandioca e fruticultura**. www.embrapa.br. Acesso em: 26 de jan de 2026, de: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/citros>
- EPPO. European and Mediterranean Plant Protection Organization. (2020). ***Aleurocanthus spiniferus* (ALECSN)[Datasheet]** EPPO Global Database. Eppo.int. <https://gd.eppo.int/taxon/ALECSN/datasheet>
- EPPO. European and Mediterranean Plant Protection Organization. (2022). **PM 7/007 (2) *Aleurocanthus citripedus*, *Aleurocanthus spiniferus* and *Aleurocanthus woglumi***. *Bulletin OEPP (Print)*, 52(2), 346–361. <https://doi.org/10.1111/epp.12855>
- EPPO. European and Mediterranean Plant Protection Organization. (2024). ***Aleurocanthus spiniferus* (ALECSN)[World distribution]** EPPO global database. Eppo.int. <https://gd.eppo.int/taxon/ALECSN/distribution>
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2017). **ISPM 5 - Glossary of phytosanitary terms**. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoterm/PDF/ISPM_05_2016_En_2017-05-25_PostCPM12_InkAm.pdf
- FARINA, A., & RAPISARDA, C. (2025). **Parasitization activity by *Eretmocerus iulii* over the Orange Spiny Whitefly, *Aleurocanthus spiniferus*, in Sicily**. *Insects*, 16(10), 1074. <https://doi.org/10.3390/insects16101074>
- FICK, S. E., & HIJMANS, R. J. (2017). **WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas**. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315.
- Fisher, W. D. (1958). **On grouping for maximum homogeneity**. 53(284), 789–798. <https://doi.org/10.1080/01621459.1958.10501479>
- GBIF. Global Biodiversity Information Facility. (2026). ***Aleurocanthus spiniferus***. <https://doi.org/10.15468/dl.uhnvwv>.
- GHAHARI, H., HUANG, J., & ABD-RABOU, S. (2011). **A contribution to the *Encarsia* and *Eretmocerus* (Hymenoptera: Aphelinidae) species from the Arasbaran biosphere reserve and vicinity, northwestern Iran**. *Archives of Biological Sciences*, 63(3), 867–878. <https://doi.org/10.2298/abs1103867g>
- GIRDŽIŪTĖ, L. (2012). **Risks in agriculture and opportunities of their integrated evaluation**. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62, 783–790. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.132>
- HIJMANS, R. J. (2025). **predicts: Spatial Prediction Tools (R package). Comprehensive R Archive Network (CRAN)**. (*Manual do pacote; função bcvars*). <https://cran.r-project.org/web/packages/predicts/predicts.pdf>
- HIRZEL, A. H., LE LAY, G., HELFER, V., RANDIN, C., & GUISAN, A. (2006). **Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences**.

Ecological Modelling, 199(2), 142–152.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.017>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2025). **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Sidra.ibge.gov.br.

<https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca15/brasil>

JANSEN, M., & PORCELLI, F. (2018). ***Aleurocanthus camelliae* (Hemiptera: Aleyrodidae), a species possibly new for the European fauna of a genus in great need of revision**. *Tijdschrift Voor Entomologie*, 161(2), 63–78.

<https://doi.org/10.1163/22119434-00002075>

JIA, Z.-F., CUI, Y.-G., LIU, M.-Y., KABISSA, J. J., XU, Y.-Y., KANG, Z.-W., & CHEN, Z.-Z. (2025). **Brief warm and aldo-keto reductase family AspiAKR1B1 contribute to cold adaptation of *Aleurocanthus spiniferus***. *Insects*, 16(1), 38.

<https://doi.org/10.3390/insects16010038>

JIMÉNEZ-VALVERDE, A., LOBO, J., & HORTAL, J. (2009). **The effect of prevalence and its interaction with sample size on the reliability of species distribution models**. *Community Ecology*, 10(2), 196–205.

<https://doi.org/10.1556/comec.10.2009.2.9>

KANMIYA, K., UEDA, S., KASAI, A., YAMASHITA, K., SATO, Y., & YOSHIYASU, Y. (2011). **Proposal of new specific status for tea-infesting populations of the nominal citrus spiny whitefly *Aleurocanthus spiniferus* (Homoptera: Aleyrodidae)**. *Zootaxa*, 2797(1), 25–44.

<https://doi.org/10.11646/zootaxa.2797.1.3>

KAPANTAIDAKI, D. E., ANTONATOS, S., KONTODIMAS, D., MILONAS, P., & PAPACHRISTOS, D. P. (2019). **Presence of the invasive whitefly *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Greece**. *EPPO Bulletin*, 49(1), 127–131.

<https://doi.org/10.1111/epp.12533>

KHAMIS, F. M., OMBURA, F. L. O., AJENE, I. J., AKUTSE, K. S., SUBRAMANIAN, S., MOHAMED, S. A., DUBOIS, T., TANGA, C. M., & EKESI, S. (2021).

Mitogenomic analysis of diversity of key whitefly pests in Kenya and its implication to their sustainable management. *Scientific Reports*, 11(1).

<https://doi.org/10.1038/s41598-021-85902-2>

KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., & RUBEL, F. (2006). **World map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263.

KUMAR, S., NEVEN, L. G., & YEE, W. L. (2014). **Evaluating correlative and mechanistic niche models for assessing the risk of pest establishment**.

Ecosphere, 5(7), art86. <https://doi.org/10.1890/es14-00050.1>

LIU, C.; WHITE, M.; NEWELL, G. (2013). **Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data**. *Journal of Biogeography*, [S.l.], v. 40, n. 4, p. 778–789, 2013. DOI: 10.1111/jbi.12058.

MALAYSIA. Department of Agriculture. (2007). **Capacity building in surveillance and diagnosis for Leafminer, Whitefly, Thrips and Mealybug pests in developing APEC economies for improved market access APEC Agricultural Technical Cooperation Working Group**. APEC Secretariat.

MARTÍNEZ, M. L., INTRALAWAN, A., VÁZQUEZ, G., PÉREZ-MAQUEO, O., SUTTON, P., & LANDGRAVE, R. (2007). **The coasts of our world: Ecological,**

economic and social importance. *Ecological Economics*, 63(2-3), 254–272.

MOKRANE, S., CAVALLO, G., TORTORICI, F., ROMERO, E., FERERES, A., DJELOUAH, K., VERRASTRO, V., & CORNARA, D. (2020). **Behavioral effects induced by organic insecticides can be exploited for a sustainable control of the Orange Spiny Whitefly *Aleurocanthus spiniferus***. *Scientific Reports*, 10(1), 15746–15746. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72972-x>

MURPHY, P. C., RYAN, J., GURALNICK, R., NEUFELD, D. A., & GLAUBITZ, R. (2004). **Georeferencing of museum collections: A review of problems and automated tools, and the methodology developed by the Mountain and Plains Spatio-Temporal Database-Informatics Initiative (Mapstedi)**. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.59792>

NUGNES, F., LAUDONIA, S., JESU, G., JANSEN, M. G. M., BERNARDO, U., & PORCELLI, F. (2020). ***Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae) in some european countries: diffusion, hosts, molecular characterization, and natural enemies**. *Insects*, 11(1), 42. <https://doi.org/10.3390/insects11010042>

O'DONNELL, M., & IGNIZIO, D. A. (2012). **Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States**. <https://doi.org/10.3133/ds691>

OWENS, H. L., CAMPBELL, L. P., DORNAK, L. L., SAUPE, E. E., BARVE, N., SOBERÓN, J., INGENLOFF, K., LIRA-NORIEGA, A., HENSZ, C. M., MYERS, C. E., & PETERSON, A. T. (2013). **Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas**. *Ecological Modelling*, 263, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.04.011>

PAUT, R., SABATIER, R., & TCHAMITCHIAN, M. (2019). **Reducing risk through crop diversification: An application of portfolio theory to diversified horticultural systems**. *Agricultural Systems*, 168, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.002>

PENG, K., MA, W., LU, J., TIAN, Z., & YANG, Z. (2023). **Application of machine vision technology in citrus production**. *Applied Sciences (Basel)*, 13(16), 9334–9334. <https://doi.org/10.3390/app13169334>

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E.; BLAIR, M. E. **Opening the black box: an open-source release of Maxent**. *Ecography*, v. 40, n. 7, p. 887–893, 2017. DOI: 10.1111/ecog.03049.

PHILLIPS, S. J., ANDERSON, R. P., & SCHAPIRE, R. E. (2006). **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

PHILLIPS, S. J., & DUDÍK, M. (2008). **Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation**. *Ecography*, 31(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>

PHILLIPS, S. J., DUDÍK, M., ELITH, J., GRAHAM, C. H., LEHMANN, A., LEATHWICK, J., & FERRIER, S. (2009). **Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data**. *Ecological Applications*, 19(1), 181–197. <https://doi.org/10.1890/07-2153.1>

PORCELLI, F. (2008). **First record of *Aleurocanthus spiniferus* (Homoptera: Aleyrodidae) in Apulia, Southern Italy**. *EPPO Bulletin*, 38(3), 516–518.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2008.01273.x>

RADONJIĆ, S., & HRNČIĆ, S. (2021). **Spreading of *Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance) (Hemiptera: Aleyrodidae) in coastal area of Montenegro.** *Acta Horticulturae*, 1308, 311–318. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2021.1308.44>

RADONJIĆ, S.; HRNČIĆ, S.; MALUMPHY, C. **First record of *Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance) (Hemiptera Aleyrodidae) in Montenegro.** *Redia*, Firenze, v. 97, p. 141-145, 2014. Disponível em: https://www.redia.it/images/stories/pdf2014/Redia_97_2014_17%20Radonic%20et%20al_.pdf. Acesso em: 22 mai 2026.

Rapisarda, C., & Longo, S. (2021). **First report from Sicily (Italy) of the orange spiny whitefly, *Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance) (Hemiptera: Aleyrodidae), and its potential risk for the Italian citrus industry.** *EPPO Bulletin*, 51(2), 329–332. <https://doi.org/10.1111/epp.12759>

RIBEIRO, B., VELAZCO, S., GUIDONI-MARTINS, K., TESSAROLO, G., & JARDIM, L. (2023). **bdc: biodiversity data cleaning.** <https://github.com/%20brunobrr/bdc>

ROBERTS, D. R., BAHN, V., CIUTI, S., BOYCE, M. S., ELITH, J., GUILLERA-ARROITA, G., HAUENSTEIN, S., LAHOZ-MONFORT, J. J., SCHRÖDER, B., THUILLER, W., WARTON, D. I., WINTLE, B. A., HARTIG, F., & DORMANN, C. F. (2017). **Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure.** *Ecography*, 40(8), 913–929. <https://doi.org/10.1111/ecog.02881>

ROQUES, A., AUGER-ROZENBERG, M.-A., BLACKBURN, T. M., GARNAS, J., PYŠEK, P., RABITSCH, W., RICHARDSON, D. M., WINGFIELD, M. J., LIEBHOLD, A. M., & DUNCAN, R. P. (2016). **Temporal and interspecific variation in rates of spread for insect species invading Europe during the last 200 years.** *Biological Invasions*, 18(4), 907–920. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1080-y>

SANTINI, L., BENÍTEZ-LÓPEZ, A., MAIORANO, L., ČENGIĆ, M., & HUIJBREGTS, M. A. J. (2021). **Assessing the reliability of species distribution projections in climate change research.** *Diversity and Distributions*, 27(6), 1035–1050. <https://doi.org/10.1111/ddi.13252>

SCOTT, W. A., & HALLAM, C. J. (2003). **Assessing species misidentification rates through quality assurance of vegetation monitoring.** *Plant Ecology*, 165(1), 101–115. <https://doi.org/10.1023/a:1021441331839>

SEEBENS, H., BLACKBURN, T. M., DYER, E. E., GENOVESI, P., HULME, P. E., JESCHKE, J. M., PAGAD, S., PYŠEK, P., WINTER, M., ARIANOUTSOU, M., BACHER, S., BLASIUS, B., BRUNDU, G., CAPINHA, C., CELESTI-GRAPOW, L., DAWSON, W., DULLINGER, S., FUENTES, N., JÄGER, H., & KARTESZ, J. (2017). **No saturation in the accumulation of alien species worldwide.** *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms14435>

SILVA, A. G. DA, FARIAS, P. R. S., BOIÇA JUNIOR, A. L., & SOUZA, B. H. S. (2011). **Mosca-Negra-dos-Citros: Características gerais, bioecologia e métodos de controle dessa importante praga quarentenária da citricultura brasileira.** *EntomoBrasilis*, 4(3), 85–91. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v4i3.145>

SIMALA, M., & MASTEN MILEK, T. (2013). **First record of the orange spiny whitefly, *Aleurocanthus spiniferus* Quaintance, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae),**

in Croatia. Plant Protection Society of Slovenia. <https://dvrs.si/wp-content/uploads/60Simala.pdf>

SLOCUM, T. A., MCMASTER, R. B., KESSLER, F. C., & HOWARD, HUGH. H. (2022). **Thematic cartography and geovisualization**. <https://doi.org/10.1201/9781003150527>

SPORBERT, M., BRUELHEIDE, H., SEIDLER, G., KEIL, P., JANDT, U., AUSTRHEIM, G., BIURRUN, I., CAMPOS, J. A., ČARNI, A., CHYTRÝ, M., CSIKY, J., DE BIE, E., DENGLER, J., GOLUB, V., GRYTNES, J., INDREICA, A., JANSEN, F., JIROUŠEK, M., LENOIR, J., & LUOTO, M. (2019). **Assessing sampling coverage of species distribution in biodiversity databases**. *Journal of Vegetation Science*, 30(4), 620–632. <https://doi.org/10.1111/jvs.12763>

STREITO, J.-C., MENDES, E., SANQUER, E., STRUGAREK, M., OUVARD, D., ROBIN-HAVRET, V., PONCET, L., LANNOU, C., & ROSSI, J.-P. (2023). **Incursion preparedness, citizen science and early detection of invasive insects: The case of *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera, Aleyrodidae) in France**. *Insects*, 14(12), 916. <https://doi.org/10.3390/insects14120916>

TANG, X.-T., TAO, H.-H., & DU, Y.-Z. (2015). **Microsatellite-based analysis of the genetic structure and diversity of *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae) from tea plants in China**. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2015.01.050>

THAILAND. Department of Agriculture. **Plant Protection Research and Development Office. Study on pest risk analysis for the importation of south africa citrus seeds**. Bangkok: Department of Agriculture, 2013. Disponível em: <https://info.doa.go.th/research/pdf/2556/147_2556.pdf>. Acesso em: 22 maio 2026. Título original:

การศึกษาวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงศัตรูพืชสำหรับการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ส้มจากสาธารณรัฐแอฟริกาใต้.

TAYYIB, M., YOUSUF, M. J., AKBAR, M., MUKHTAR, M., & SAEED KHAN, A. (2014). **Genus *Aleurocanthus* (Homoptera: Aleyrodidae) with two new records from Pakistan**. *Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences*, 2(4), 175–177. <https://doi.org/10.17957/jgiass/2.4.601>

USDA. United States Department of Agriculture. (2024). **USDA Foreign Agricultural Service**. Usda.gov. <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0571120>

VÁCLAVÍK, T., & MEENTEMEYER, R. K. (2009). **Invasive species distribution modeling (ISDM): Are absence data and dispersal constraints needed to predict actual distributions?** *Ecological Modelling*, 220(23), 3248–3258. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.08.013>

VALAVI, R., ELITH, J., LAHOZ-MONFORT, J. J., & GUILLERA-ARROITA, G. (2019). **block CV: An r package for generating spatially or environmentally separated folds for k-fold cross-validation of species distribution models**. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(2), 225–232. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13107>

VAN DEN BERG, M. A., & GREENLAND, J. (1996). **First establishment of *Encarsia cf. smithi* (Hymenoptera: Aphelinidae), a parasitoid of the spiny blackfly, *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae), in southern Africa**. (pp. 127–129). *African Plant Protection* 2 (2).

VAN DEN BERG, M. A., & GREENLAND, J. (2001). **Pest status of two blackfly**

species on citrus in South Africa and Swaziland (pp. 53–57). *African Plant Protection* 7 (1).

VAN DEN BERG, M. A., HOPNER, G., & GREENLAND, J. (2000). **An economic study of the biological control of the Spiny Blackfly, *Aleurocanthus spiniferus* (Hemiptera: Aleyrodidae), in a citrus orchard in Swaziland.** *Biocontrol Science and Technology*, 10(1), 27–32. <https://doi.org/10.1080/09583150029350>

VASANTHARAJ DAVID, B., & DUBEY, A. K. (2006). **Whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) fauna of Andaman and Nicobar Islands, India with description of a new species.** *Entomon*, v. 31, n. 3, p. 191-205, 2006.

VASANTHARAJ DAVID, B., & DUBEY, A. K. (2012). **Whitefly fauna (Hemiptera: Aleyrodidae) of Myanmar.** *Indian Journal of Entomology*, 74(2), 167–172.

VELAZCO, S. J. E., ROSE, M. B., DE ANDRADE, A. F. A., MINOLI, I., & FRANKLIN, J. (2022). **flexsdm: An r package for supporting a comprehensive and flexible species distribution modelling workflow.** *Methods in Ecology and Evolution*, 13(8), 1661–1669. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13874>

VELAZCO, S. J. E., VILLALOBOS, F., GALVÃO, F., & DE MARCO JÚNIOR, P. (2019). **A dark scenario for Cerrado plant species: Effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness.** *Diversity and Distributions*, 25(4), 660–673. <https://doi.org/10.1111/ddi.12886>

VENETTE, R. C., KRITICOS, D. J., MAGAREY, R. D., KOCH, F. H., BAKER, R. H. A., WORNER, S. P., GÓMEZ RABOTEUX, N. N., MCKENNEY, D. W., DOBESBERGER, E. J., YEMSHANOV, D., DE BARRO, P. J., HUTCHISON, W. D., FOWLER, G., KALARIS, T. M., & PEDLAR, J. (2010). **Pest risk maps for invasive alien species: A roadmap for improvement.** *BioScience*, 60(5), 349–362. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.5.5>

VIGNALI, S., BARRAS, A. G., ARLETTAZ, R., & BRAUNISCH, V. (2020). **SDMtune: An R package to tune and evaluate species distribution models.** *Ecology and Evolution*, 10(20), 11488–11506. <https://doi.org/10.1002/ece3.6786>

ZIZKA, A., SILVESTRO, D., ANDERMANN, T., AZEVEDO, J., DUARTE RITTER, C., EDLER, D., FAROOQ, H., HERDEAN, A., ARIZA, M., SCHARN, R., SVANTESSON, S., WENGSTRÖM, N., ZIZKA, V., & ANTONELLI, A. (2019). **CoordinateCleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases.** *Methods in Ecology and Evolution*, 10(5), 744–751. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13152>