

ZONEAMENTOS TERRITORIAIS DE ÁREAS FAVORÁVEIS A *Diachasmimorpha longicaudata* VISANDO BIOCONTROLE DA PRAGA QUARENTENÁRIA AUSENTE *Anastrepha curvicauda*

Data de submissão: 19/07/2023

Data de aceite: 01/09/2023

Rafael Mingoti

Embrapa Territorial
Campinas, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3479283038505977>

Maria Conceição Peres Young Pessoa

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7609273004875279>

Cauê Chaves Pereira

Bolsista Embrapa Territorial/Graduando
Geografia-UNICAMP
(período: agosto/2021 a dezembro/2022)
Campinas, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6364045939215825>

Jeanne Scardini Marinho-Prado

Laboratório de Quarentena “Costa Lima”/
Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna- São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8742593129238690>

Marco Antonio Ferreira Gomes

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/5589120793657544>

Bárbara de Oliveira Jacomo

Bolsista Embrapa Territorial/Graduanda
Ciências Biológicas-UNICAMP (período:
novembro/2019 a julho/2021)
Campinas, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9208682264184448>

Beatriz de Aguiar Giordano Paranhos

Embrapa Semiárido
Petrolina, Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/6606136052148527>

RESUMO: O parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead, 1905) (Hymenoptera: Braconidae) vem sendo utilizado no controle de moscas-das-frutas. *Anastrepha curvicauda* (syn. *Toxotrypana curvicauda*) (Gerstaecker, 1860) (Diptera: Tephritidae) é praga quarentenária ausente (PQA) no Brasil e ataca, preferencialmente, mamão no exterior, embora existam relatos de ataques a outros cultivos, incluindo manga. O parasitoide, presente no Brasil, exerce o biocontrole de larvas de *A. curvicauda* no exterior. Para prospectar seu potencial uso futuro e eficaz no Brasil, em caso de sua presença no país, é preciso conhecer locais em que fatores abióticos propiciem seu desenvolvimento conjunto ao da PQA. Este trabalho apresenta zoneamentos territoriais de áreas brasileiras favoráveis ao melhor desenvolvimento do parasitoide *D. longicaudata* visando o controle biológico da PQA *A. curvicauda*, em pelo menos um mês do ano, na presença de frutíferas de mamão ou manga localizadas,

ou não, em áreas frágeis nacionais. Técnicas de geoprocessamento foram utilizadas, assim como: a) dados de literatura internacional, para as condições de favorabilidade ao maior desenvolvimento do parasitoide; b) zoneamentos territoriais de áreas brasileiras aptas a *A. curvicauda*, obtidas por modelagem de nicho ecológico (GARP/Openmodeller); c) T e UR médias mensais nacionais (período de 1961 a 2021 obtidas a partir do BDMEP/INMET; d) malha municipal do país (IBGE); e e) planos de informação de áreas frágeis nacionais (aquíferos livres, solos porosos e pluviosidades maiores 250 mm). Os zoneamentos indicaram as localidades nacionais favoráveis ao melhor desenvolvimento do parasitoide, contribuindo com as políticas públicas de defesa fitossanitária nacional.

PALAVRAS-CHAVE: controle biológico; mosca-das-frutas; modelagem de nicho ecológico; praga quarentenária; SIG; Brasil

TERRITORIAL ZONING MAPS OF FAVORABLE AREAS FOR *Diachasmimorpha longicaudata* AIMING AT THE BIOCONTROL OF THE ABSENT QUARANTINE PEST *Anastrepha curvicauda*

ABSTRACT- The parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead, 1905) (Hymenoptera: Braconidae) has been used in the control of the fruit flies. *Anastrepha curvicauda* (Gerstaecker, 1860) (Diptera: Tephritidae) is an absent quarantine pest (AQP) in Brazil and attacks, mainly, papaya fruit crops abroad, although there are reports of attacks in other crops, such as mango. The parasitoid, present in Brazil, performs the biocontrol of larvae of *A. curvicauda* abroad. To prospect its future and effective potential uses in Brazil, in case of its presence in the country, it is necessary to know the places where abiotic factors favor its development along with the AQP. This work presents the territorial zoning maps of Brazilian areas favorable to the better development of the parasitoid *D. longicaudata* aiming at the biological control of the AQP *A. curvicauda* in at least one month in the year, considering the presence of the fruit crops of papaya or mango located, or not, in fragile areas. Geoprocessing techniques were used, as well as: a) the international literature data for favorable conditions to the better development of the parasitoid; b) territorial zoning maps of Brazilian areas apt for *A. curvicauda*, obtained through ecological niche modeling (GARP/Openmodeller); c) national monthly averages for temperature and humidity (period from 1961 to 2021) obtained from those of BDMEP/INMET; d) municipality grid of the country (IBGE); and e) information plans of the national fragile areas (free aquifers, porous soils and rainfall greater than 250 mm). The zoning maps indicated the national localities favored to the better development of the parasitoid, contributing for public policies of national phytosanitary defense.

KEYWORDS: biological control; fruit flies; ecological niche modeling; quarantine pest; GIS; Brazil.

1 | INTRODUÇÃO

A mosca-das-frutas do mamão *Anastrepha curvicauda* (Gerstaecker, 1860) (syn. *Toxotrypana curvicauda* Gerstaecker, 1860 (Diptera: Tephritidae) é praga quarentenária ausente (PQA) no Brasil (BRASIL, 2022). Esse inseto-praga é uma das principais pragas da fruteira de mamão no exterior (Norrbon et al., 2018), embora haja relatos de literatura

internacional sobre seus ataques em outros cultivos, incluindo em manga (Ferracini et al., 2022a).

Anastrepha curvicauda está presente em áreas da América do Norte, América Central e Caribe e da América do Sul (Venezuela e Colômbia) (Boscán & Godoy, 1998; Martinez & Burbano, 2006; Australia Plant Health, 2021; Cabi, 2021; Jacomo et al., 2021; Mingoti et al., 2022a).

A presença do inseto em países da América do Sul eleva o risco de entrada desse inseto-praga exótico no Brasil, que é um dos principais produtores mundiais de mamão com as principais regiões produtoras da frutífera encontradas ao Sul e Oeste da Bahia, ao Norte do Espírito Santo, ao Norte de Minas Gerais, ao Norte do Rio Grande do Norte e no Ceará (Pereira et al., 2022; Mingoti et al., 2022c). Acrescenta-se também o risco a ataques da PQA em frutíferas de mangas, as quais se destacam em áreas localizadas no Vale do São Francisco (Petrolina-PE / Juazeiro-BA), Livramento de Nossa Senhora (Sudoeste da Bahia), Jaíba e Janaúba (Norte de Minas Gerais) e Monte Alto e Taquaritinga (Ribeirão Preto) em São Paulo (Pereira et al., 2022; Mingoti et al., 2022c). Por essa razão, a PQA *A. curvicauda* foi priorizada pelo Departamento de Sanidade Vegetal (DSV) da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para ações de pesquisa (BARBOZA et al., 2018; FIDELIS et al., 2018).

O parasitoide solitário *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead, 1905) (Hymenoptera: Braconidae) vem sendo destacado como bioagente (endoparasitoide larval) utilizado no controle de tefritídeos (Paladino et al., 2010; Rohr et al., 2019), entre eles *A. curvicauda* (Gerstaecker, 1860) (Diptera: Tephritidae). Por já encontrar-se no Brasil, essa estratégia de controle biológico poderia também vir a ser utilizada em programas de manejo integrado da PQA *A. curvicauda*, em caso de entrada no país, principalmente em cultivos hospedeiros presentes em áreas frágeis, onde o uso de controle químico tenha que ser evitado em decorrência de maiores potenciais de transportes de seus princípios ativos (Ferracini et al., 2022a,b).

O Projeto DefesaInsetos (Embrapa SEG n. n.40.18.03.007.00.00) vêm pesquisando e disponibilizando vários resultados abordando pragas quarentenárias (ausentes e presentes), como também pragas de importância econômica. O projeto priorizou como áreas frágeis nacionais aquelas encontradas principalmente em locais com a presença de aquíferos não confinados (freáticos, aflorantes ou livres) e com solos altamente porosos, tais como os encontrados em áreas de aquíferos sedimentares granulares e sedimentares ou metassedimentares de natureza química/orgânica (cársticos), associados às áreas nacionais com pluviosidades anuais superiores a 250 mm (Ferracini et al., 2020; 2022a,b). Essas condições contribuem para intensificar o transporte de princípios ativos de agrotóxicos de maiores potenciais de lixiviação e/ou escoamento superficial aplicados no controle de insetos-praga (Ferracini et al., 2020; 2022a,b). Desse modo, entre os resultados já disponibilizados pelo projeto, com foco na PQA *Anastrepha curvicauda*, citam-se: a)

zoneamentos das áreas aptas à PQA *A. curvicauda* por modelagem de nicho ecológico (ENM) em algoritmo *Genetic Algorithm for Rule-set Production* (GARP) (plataforma OpenModeller) (Jacomo et al., 2021); b) zoneamentos das áreas aptas à PQA *A. curvicauda*, considerando áreas brasileiras com fruteiras de mamão (Mingoti et al., 2022a); c) zoneamentos das áreas aptas à PQA *A. curvicauda*, considerando áreas brasileiras com fruteiras de mamão ou manga (Mingoti et al., 2022b); d) avaliações de potencial de transportes (lixiviação ou escoamento superficial) de princípios ativos de agrotóxicos identificados como utilizados para o controle do inseto no exterior (Ferracini et al., 2022a,b); e) zoneamento de áreas nacionais aptas ao parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* (Pereira et al., 2022); f) zoneamento de áreas brasileiras aptas ao parasitoide *D. longicaudata* e à PQA *A. curvicauda* em pelo menos um mês do ano, em áreas de cultivos de frutíferas de **mamão ou manga** (Pereira et al., 2022); e g) planos de informações geográficas intermediários, determinando a presença dessas áreas frágeis (Ferracini et al., 2020; 2022a).

Este trabalho apresenta os zoneamentos territoriais de áreas brasileiras favoráveis ao melhor desenvolvimento do parasitoide *D. longicaudata*, visando o controle biológico da PQA *A. curvicauda*, em pelo menos um mês do ano, na presença de frutíferas de mamão ou manga localizadas, ou não, em áreas frágeis nacionais, elaborados pelo projeto DefesaInsetos para subsidiar políticas públicas, em caso de entrada desse inseto-praga exótico no país.

2 | ZONEAMENTO TERRITORIAL DE ÁREAS FAVORÁVEIS A *Diachasmimorpha longicaudata* E À PQA *Anastrepha curvicauda* COM PRESENÇA DOS PLANTIOS HOSPEDEIROS DE MAMÃO OU MANGA

O zoneamento de áreas nacionais favoráveis concomitantemente ao melhor desenvolvimento de *D. longicaudata* e à PQA *A. curvicauda*, em pelo menos um mês do ano, em locais com as fruteiras hospedeiras de mamão ou manga foi realizado (Pereira et al., 2022), com a análise parcial dos resultados apresentada pelos mesmos autores. Para a elaboração desse zoneamento, Pereira et al. (2022) consideraram as seguintes informações:

a) **Zoneamento de potenciais nichos ecológicos de *A. curvicauda***, (Jacomo et al., 2021) (**Figura 1**). Esse zoneamento foi elaborado usando algoritmo *Genetic Algorithm for Rule-set Production* (GARP) em plataforma OpenModeller (Santana, 2009; Souza Muñoz et al., 2011; Cria, 2021). Nele foram considerados: a1) pontos de ocorrências de *A. curvicauda* no exterior, obtidos na plataforma *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) e no *Centre for Agriculture and Bioscience International* (CABI); a2) informações climáticas obtidas no WorldClim2, com as de precipitação, temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed), temperatura mínima (Tmin) e umidade relativa (UR) substituídas por dados médios nacionais, a partir dos recuperados no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (período de 1961 a

2018) (INMET, 2020) e disponibilizados em arquivos em formato de texto, padronizados e convertidos para geodatabase do tipo “ponto em aplicativo ArcMap”. Os dados foram interpolados usando o método de cokrigagem simples, em grade de pontos de 100 km entre pontos; a3) processamento feito no SIG ESRI ArcGIS v.10.7 adotando sistema de referência WGS 84 em coordenadas geográficas, com pixel igual a 10 min ou 0,1667°.

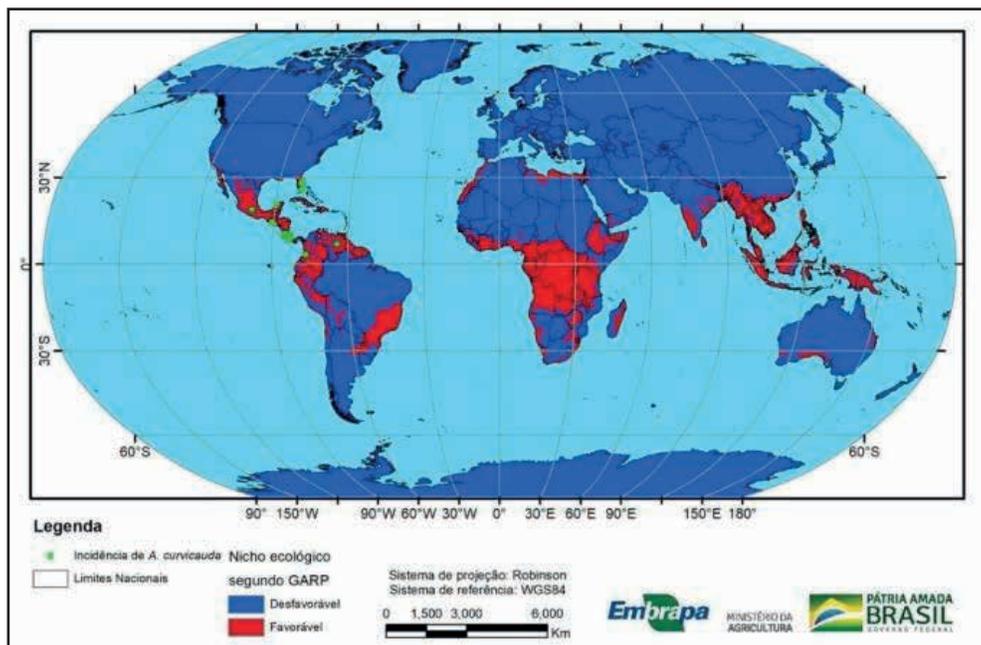


Figura 1. Zoneamento de potenciais nichos ecológicos de *A. curvicauda*, elaborado usando algoritmo GARP em plataforma OpenModeller (Fonte: Jacomo et al., 2021)

b) **Zoneamento de áreas brasileiras com condições climáticas favoráveis, em ao menos um mês do ano, ao melhor desenvolvimento do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata*** (Pereira et al., 2022) (Figura 2). O zoneamento fez uso de condições que conferem ao parasitoide *D. longicaudata* seu melhor desenvolvimento de todas as suas fases de vida e progênie, definidas pelos intervalos de temperaturas médias (T_{med}) de 21 a 28°C e de umidades relativas médias (UR_{med}) entre 50 e 70% recuperados de literatura (Ashley et al., 1976; Meirelles, 2011; Meirelles et al., 2015) e valores médios climáticos nacionais, obtidos a partir de dados meteorológicos de 573 estações convencionais disponíveis na base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de janeiro/1961 a dezembro/2021. As informações de T médias e UR também foram recuperadas da BDMEP/INMET e organizadas em arquivos do tipo Planilha Microsoft Excel, com cálculos das médias e dos desvios padrões mensais realizados em software Libre Office Calc (versão 7.2). Os dados foram convertidos em arquivos do tipo shapefile para serem trabalhados em ArcMap (versão 10.7.1). Posteriormente, foram realizadas interpolações dos dados dos

desvios padrões de T e de UR, pelo método de *Inverse Distance Weighted* (IDW) com fator de ponderação igual a dois, e para os dados dos valores médios desses parâmetros meteorológicos pelo método de Cokrigagem, considerando como variável auxiliar dados de temperatura média mensal obtidos para os anos de 1950 a 1990, por Alvares et al. (2013), em grade de pontos de 100 km de equidistância. A partir da função de álgebra de mapas (Map Algebra), disponível no pacote de ferramentas ArcToolbox do software ArcGIS 10.7.1, foram realizadas operações de cruzamento espacial considerando as condições climáticas favoráveis ao melhor desenvolvimento de *D. longicaudata* para indicar áreas aptas ao parasitoide em pelo menos um mês ao ano no país. A área favorável ao bioagente *D. longicaudata* em território nacional foi apresentada, adotando o sistema de referência SIRGAS 2000 e o sistema de projeção equidistante de Albers (IBGE, 2020), para viabilizar o posterior cruzamento com o zoneamento de áreas aptas a *A. curvicauda*.

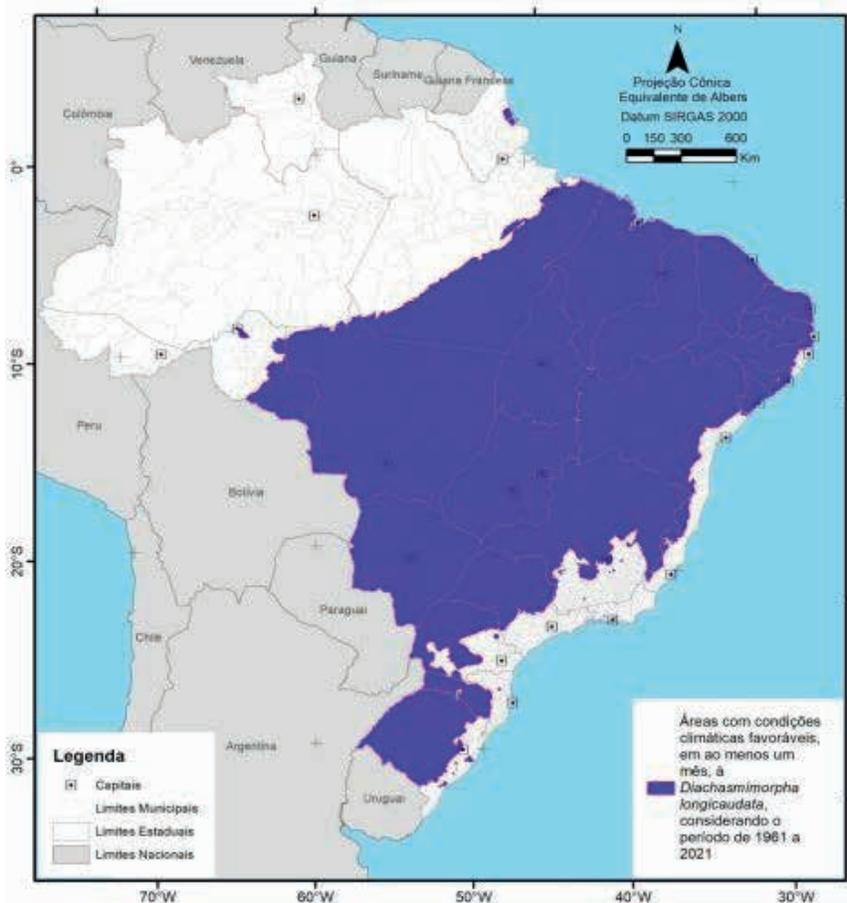


Figura 2. Áreas brasileiras com condições climáticas favoráveis, em ao menos um mês, ao melhor desenvolvimento de *Diachasmimorpha longicaudata*, considerando valores médios do período de 1961 a 2021 (Fonte: Pereira et al., 2022)

c) **Zoneamento de áreas brasileiras favoráveis à PQA *Anastrepha curvicauda* em fruteiras de mamão ou manga (Mingoti et al., 2022b) (Figura 3).** Nele foram considerados o zoneamento de áreas brasileiras aptas à PQA, obtido por GARP/Openmodeller (Jacomo et al., 2021) (**Figura 1**) e dados municipais de áreas com frutíferas de mamão ou de manga, obtidos da Pesquisa Agrícola Municipal para o ano de 2017 e do Censo Agropecuário de 2017, ambos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), via Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)/IBGE. Os dados foram padronizados em planilhas Microsoft Excel e unidos a cada município do shapefile da malha municipal do país de 2017 (IBGE, 2018), fazendo uso das mesmas técnicas de geoprocessamento já informadas.

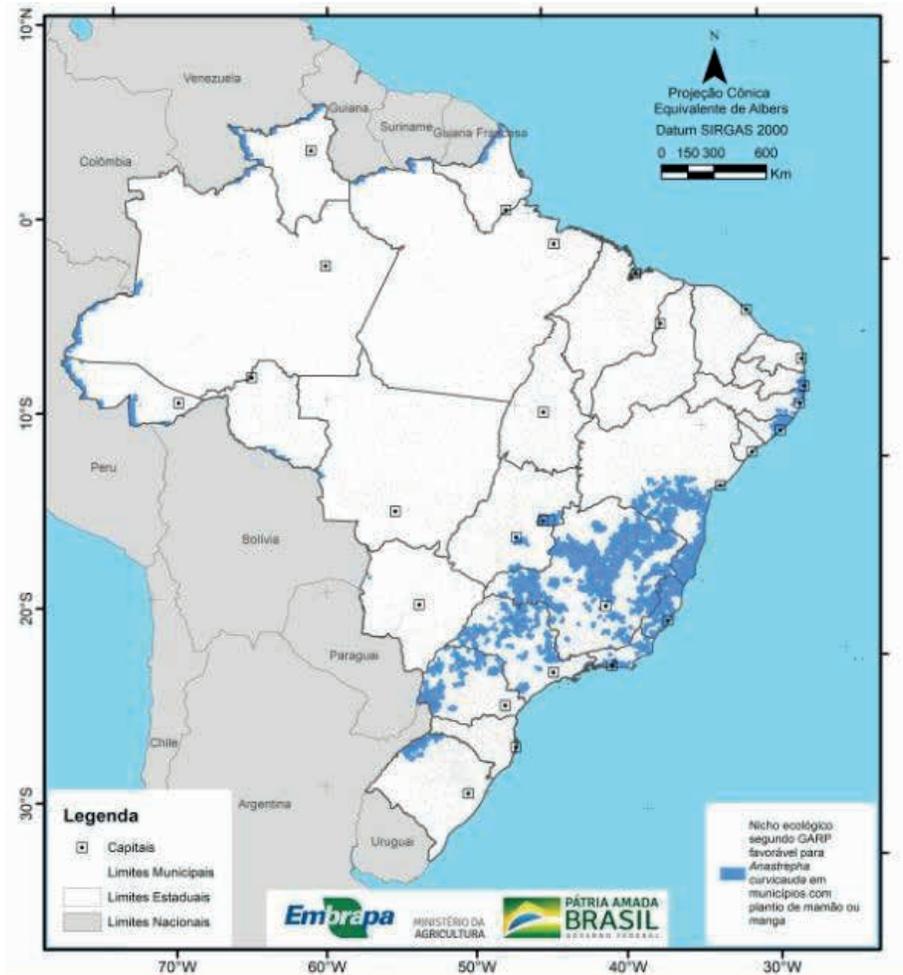


Figura 3. Zoneamento de áreas favoráveis à PQA *Anastrepha curvicauda*, considerando as fruteiras de mamão ou manga (Fonte: Mingoti et al., 2022b)

Assim, a partir do cruzamento das informações supracitadas, utilizando os mesmos recursos de geoprocessamento, foi disponibilizado o **zoneamento de áreas nacionais**

favoráveis concomitantemente ao melhor desenvolvimento de *D. longicaudata* e à PQA *A. curvicauda*, em pelo menos um mês do ano, em locais com as fruteiras hospedeiras de mamão ou manga (Pereira et al., 2022) (Figura 4).

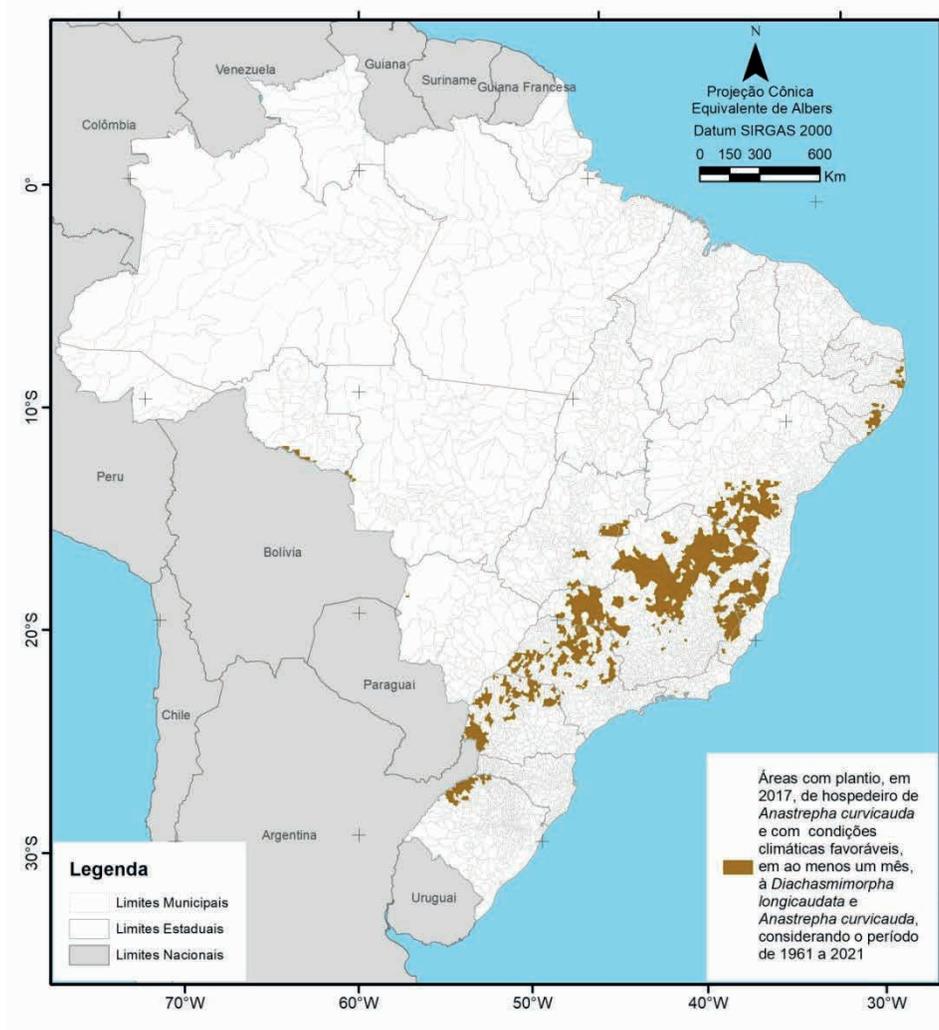


Figura 4. Zoneamento de áreas favoráveis ao desenvolvimento ótimo de *Diachasmimorpha longicaudata* e da PQA *Anastrepha curvicauda*, em ao menos um mês do ano, considerando áreas nacionais com as fruteiras de mamão ou manga (Fonte: Pereira et al., 2022)

Com base na análise dos dados disponibilizados por este zoneamento (Figura 4) foram identificadas 15 unidades da federação, bem como seus 565 municípios pertencentes a 51 macrorregiões e 144 microrregiões estaduais, presentes em todas as regiões geográficas brasileiras e favoráveis ao melhor uso do parasitoide *D. longicaudata* como estratégia de controle biológico da PQA *A. curvicauda*, em ao menos um mês do ano, nessas áreas nacionais com fruteiras de mamão ou manga (Tabela 1).

Regiões/Unidades da Federação	Qtd_Microrregiões	Qtd_Macrorregiões	Qtd_Municípios
Região Norte			
Rondônia	2	2	3
Região Nordeste			
Alagoas	5	2	35
Bahia	12	3	65
Paraíba	6	2	18
Pernambuco	5	3	15
Rio Grande do Norte	1	1	3
Região Centro-Oeste			
Distrito Federal	1	1	1
Goiás	3	3	5
Mato Grosso	1	1	1
Mato Grosso do Sul	1	1	1
Região Sudeste			
Espirito Santo	9	4	23
Minas Gerais	40	11	128
São Paulo	31	10	123
Região Sul			
Paraná	21	6	97
Rio Grande do Sul	6	1	47
TOTAL	144	51	565

Obs.: Qtd = quantidades.

Tabela 1. Número de microrregiões, macrorregiões e municípios por unidade da federação favoráveis ao desenvolvimento ótimo do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* e da PQA *Anastrepha curvicauda*, em ao menos um mês do ano, em presença de fruteiras de mamão ou manga.

Nesse zoneamento, a aptidão ao parasitoide mostrou-se predominante em municípios das **regiões Sudeste** (em 25 macrorregiões, 80 microrregiões e 274 municípios), **Sul** (em sete macrorregiões, 27 microrregiões e 144 municípios) e **Nordeste** (em 11 macrorregiões, 29 microrregiões e 136 municípios), embora também presentes nas regiões **Centro-Oeste** (em seis macrorregiões, seis microrregiões e oito municípios) e **Norte** (em duas macrorregiões, duas microrregiões e três municípios).

As maiores favorabilidades municipais foram observadas em **Minas Gerais**, nas **macrorregiões de Campos das Vertentes** (microrregião de São João Del Rei), **Central Mineira** (microrregiões de Bom Despacho, Curvelo e Três Marias), **Jequitinhonha** (microrregiões de Almenara, Araçuaí, Capelinha, Diamantina e Pedra Azul), **Metropolitana de Belo Horizonte** (microrregiões de Belo Horizonte, Ouro Preto, Pará de Minas e Sete Lagoas), **Noroeste de Minas** (microrregiões de Paracatu e Unaí), **Norte de Minas** (microrregiões de Bocaiuva, Grão Mogol, Janaúba, Janaúria, Montes Claros, Pirapora e

Salinas), **Oeste de Minas** (microrregiões de Divinópolis e Piuí), **Sul/Sudoeste de Minas** (microrregiões de Passos e de São Sebastião do Paraíso), **Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba** (Araxá, Frutal, Ituiutaba, Patos de Minas, Patrocínio, Uberaba e Uberlândia), **Vale do Mucuri** (microrregiões de Nanuque e Teófilo Otoni) e **Vale do Rio Doce** (microrregiões de Aimorés, Caratinga, Governador Valadares, Mantena e Peçanha). Em **São Paulo** a aptidão foi observada em municípios presentes nas **macrorregiões de Araçatuba** (microrregiões de Araçatuba e Birigui), **Araraquara** (microrregião de Araraquara), **Assis** (microrregiões de Assis e Ourinhos), **Bauru** (microrregiões de Bauru, Botucatu e Lins), **Campinas** (microrregiões de Campinas, Moji Mirim, Pirassununga e São João da Boa Vista), **Marília** (microrregião de Marília), **Piracicaba** (microrregiões de Limeira e Rio Claro), **Presidente Prudente** (microrregiões de Adamantina, Dracena e Presidente Prudente), **Ribeirão Preto** (microrregiões de Barretos, Batatais, Franca, Ituverava, Jaboticabal, Ribeirão Preto e São Joaquim da Barra), **São José do Rio Preto** (microrregiões de Auriflamma, Catanduva, Nhandeara, Movo Horizonte, São José do Rio Preto e Votuporanga). Já no estado do Espírito Santo, municípios aptos foram observados nas macrorregiões de **Central Espírito-santense** (microrregiões de Afonso Claudio e Santa Teresa), **Litoral Norte Espírito-santense** (microrregiões de Montanha e São Mateus), **Noroeste Espírito-santense** (microrregiões de Barra de São Francisco, Colatina e Nova Venécia) e **Sul Espírito-santense** (microrregiões de Alegre e Cachoeiro do Itapemirim). Assim sendo, as grandes áreas produtoras de mamão ou manga presentes nas macrorregiões aptas desses estados foram acima destacadas (sublinhadas). Relata-se também a aptidão nos municípios de Janaúba e Jaíba, ambos de Minas Gerais, e os de Monte Alto e Taquaritinga, em São Paulo; importantes áreas produtoras de manga, já citadas. Na **Bahia**, aptidões foram observadas em municípios presentes nas macrorregiões de **Centro Norte Baiano** (microrregiões de Feira de Santana e Itaberaba), **Centro Sul Baiano** (microrregiões de Boquira, Brumado, Guanambi, Itapetinga, Jequiê, Livramento do Brumado, Seabra e Vitória da Conquista) e **Sul Baiano** (microrregiões de Ilhéus-Itabuna e Porto Seguro). Foi observada aptidão para os municípios de Livramento de Nossa Senhora, presente na macrorregião do Centro-Sul Baiano. No **Rio Grande do Norte** foram identificados municípios aptos pertencentes a macrorregião do **Leste Potiguar** (microrregião do Litoral Sul). Não foram observadas aptidões para o estado do Ceará.

3 | ZONEAMENTO TERRITORIAL DE ÁREAS FAVORÁVEIS AO MELHOR DESENVOLVIMENTO DO PARASITOIDE *Diachasmimorpha longicaudata* E DA PQA *Anastrepha curvicauda*, EM AO MENOS UM MÊS DO ANO, CONSIDERANDO PRESENÇA DE FRUTÍFERAS HOSPEDEIRAS DE MAMÃO OU MANGA EM ÁREAS FRÁGEIS

A partir do zoneamento de áreas favoráveis ao desenvolvimento ótimo de *D. longicaudata* e da PQA *A. curvicauda*, em ao menos um mês do ano, considerando

áreas nacionais com as fruteiras de mamão ou manga (**Figura 4**) (Pereira et al., 2022), o cruzamento dessas informações com aquelas disponibilizadas em planos de informações de áreas frágeis (Ferracini et al., 2020; Ferracini et al., 2022a,b) foi realizado, resultando no zoneamento territorial de áreas brasileiras favoráveis ao melhor desenvolvimento do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* e da PQA *Anastrepha curvicauda*, em ao menos um mês do ano, considerando presença de frutíferas hospedeiras de mamão ou manga em áreas frágeis (**Figura 5**). O cruzamento foi realizado em mesmo SIG já citado.

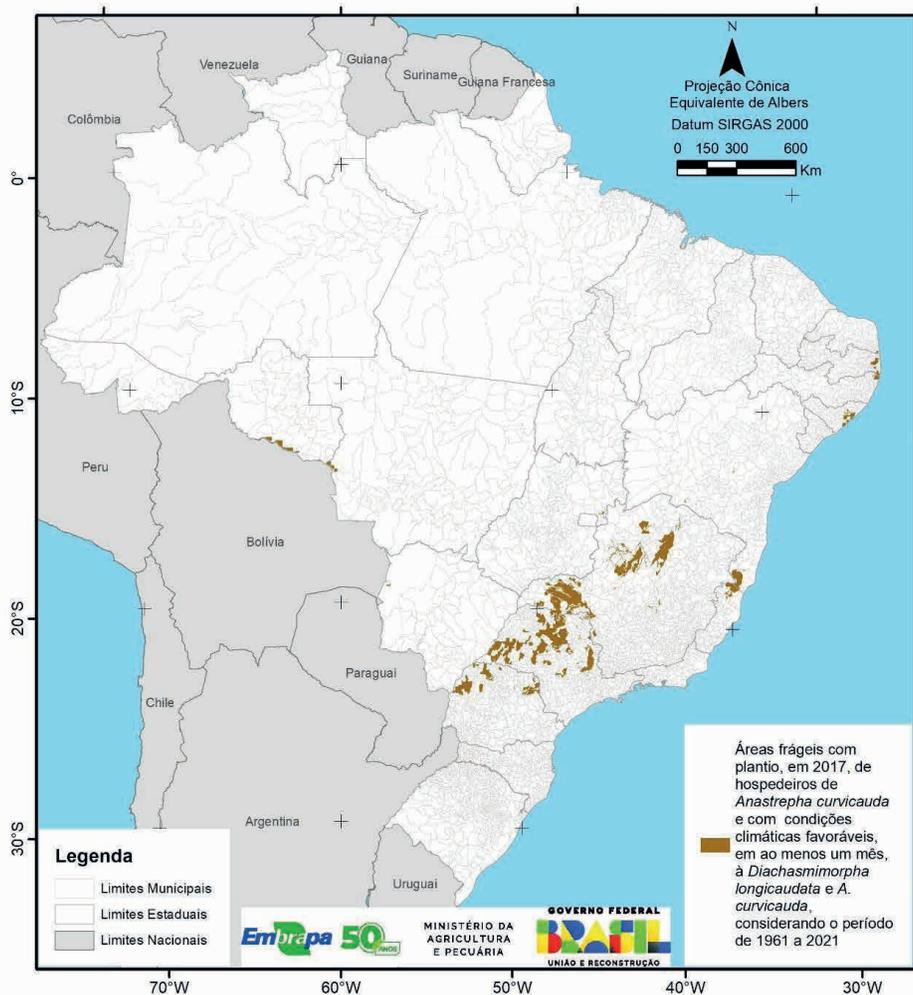


Figura 5. Zoneamento territorial de áreas brasileiras favoráveis ao melhor desenvolvimento do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* e da PQA *Anastrepha curvicauda*, em ao menos um mês do ano, considerando presença de frutíferas hospedeiras de mamão ou manga em áreas frágeis

Com base na análise dos resultados fornecidos por este zoneamento (**Figura 5**), 286 municípios, pertencentes a 81 microrregiões estaduais, distribuídas em todas as regiões do país mostraram-se favoráveis ao uso do parasitoide *D. longicaudata* no controle da PQA *A. curvicauda* em frutíferas hospedeiras de mamão ou manga localizadas em áreas frágeis (**Tabela 2**).

Unidades da Federação	Qty_Microrregiões	Qty_Municípios
Alagoas	3	22
Bahia	5	15
Espírito Santo	4	8
Goiás	1	1
Mato Grosso	1	1
Mato Grosso do Sul	1	1
Minas Gerais	15	55
Paraíba	5	16
Paraná	10	33
Pernambuco	2	6
Rio Grande do Norte	1	3
Rondônia	2	3
São Paulo	31	122
TOTAL	81	286

Tabela 2. Quantidades de microrregiões e de municípios aptos ao melhor desenvolvimento do bioagente *Diachasmimorpha longicaudata* e da PQA *Anastrepha curvicauda*, em ao menos um mês do ano, considerando presença de frutíferas hospedeiras de manga ou mamão em áreas frágeis.

A **região Sudeste** apresentou a maior quantidade de municípios aptos, totalizando 185 municípios distribuídos em 50 microrregiões estaduais. Estes municípios encontraram-se localizados nas seguintes Unidades da Federação: **São Paulo** (185 municípios distribuídos em 50 microrregiões), **Minas Gerais** (55 municípios distribuídos em 15 microrregiões) e **Espírito Santo** (oito municípios distribuídos em quatro microrregiões). A **região Nordeste** apresentou a segunda maior quantidade de municípios aptos, totalizando 62 municípios, distribuídos em 16 microrregiões estaduais, localizados em **Alagoas** (22 municípios distribuídos em 3 microrregiões), **Paraíba** (16 municípios distribuídos em cinco microrregiões), **Bahia** (15 municípios distribuídos em cinco microrregiões), **Pernambuco** (seis municípios distribuídos em duas microrregiões) e **Rio Grande do Norte** (três municípios distribuídos em uma microrregião). Na **região Sul** foram observados 33 municípios aptos, distribuídos em 10 microrregiões do **Paraná**. Na **região Centro-Oeste** observaram-se três municípios de três microrregiões estaduais aptos, a saber em **Goiás** (um município de uma microrregião), **Mato Grosso** (um município de uma microrregião) e **Mato Grosso do Sul** (um município de uma microrregião).

Na **região Norte**, três municípios de **Rondônia**, distribuídos em duas microrregiões estaduais, apresentaram favorabilidade ao uso de *D. longicaudata* nas condições do zoneamento realizado. Tratando-se de áreas frágeis, a análise dos resultados deste zoneamento apresentou os municípios aptos, conforme apresentado a seguir por microrregião estadual.

Na **região Nordeste**, a aptidão deu-se no estado de **Alagoas**, ocorrendo na **microrregião Leste Alagoano** (municípios de Atalaia, Barra de Santo Antonio, Barra de São Miguel, Boca da Mata, Branquinha, Cajueiro, Capela, Coqueiro Seco, Coruripe, Jequiá da Praia, Maceió, Marechal Deodoro, Messias, Murici, Paripueira, Pilar, Rio Largo, Roteiro, Santa Luzia do Norte, São Luís do Quitunde, São Miguel dos Campos e Satuba). Também foi observada na **Bahia**, nas **microrregiões Centro Norte Baiano** (município de Boa Vista do Tupim), **Centro Sul Baiano** (municípios de Barra da Estiva, Ituaçu, Palmas de Monte Alto, Sebastião Laranjeiras, Tanhaçu e Urandi) e **Sul Baiano** (municípios de Caravelas, Ibirapuã, Lajedão, Medeiros Neto, Mucuri, Nova Viçosa, Teixeira de Freitas e Vereda), como também na **Paraíba**, **microrregiões de Agreste Paraibano** (município de Araçagi) e **Mata Paraibana** (Municípios de Alhandra, Caaporã, Capim, Conde, Cruz do Espírito Santo, Cuité de Mamanguape, Mamanguape, Marcação, Mari, Mataraca, Pedras de Fogo, Pitimbu, Rio Tinto, Santa Rita e Sapé). Ainda na região Nordeste, observou-se aptidão em **Pernambuco**, nas **microrregiões Mata Pernambucana** (municípios de Aliança, Condado, Goiana, Itambé e Itaquitinga) e **Metropolitana de Recife** (município de Itapissuma), e no **Rio Grande do Norte**, na **microrregião Leste Potiguar** (municípios de Baía Formosa, Canguaretama e Pedro Velho).

Na **região Sudeste** observou-se favorabilidade ocorrendo no **Espírito Santo**, microrregiões do **Litoral Norte Espírito-Santense** (municípios de Montanha, Mucuri, Pedro Canário, Pinheiros e Ponto Belo) e do **Noroeste Espírito-Santense** (municípios de Boa Esperança, Ecoporanga e Nova Venécia). Também foi constatada aptidão em **Minas Gerais**, nas **microrregiões Central Mineira** (municípios de Augusto de Lima, Biquinhas, Buenópolis e Três Marias), **Jequitinhonha** (município de Gouveia), **Metropolitana de Belo Horizonte** (municípios de Baldim, Funilândia, Jaboticatubas, Jequitibá, Lagoa Santa, Santana de Pirapama e Sete Lagoas), **Noroeste de Minas** (municípios de Brasilândia de Minas, Dom Bosco, João Pinheiro, Natalândia e Paracatu), **Norte de Minas** (municípios Bocaiúva, Buritizeiro, Capitão Enéas, Claro dos Poções, Espinosa, Francisco Dumont, Francisco Sá, Glaucilândia, Jaíba, Janaúba, Januária, Lassance, Montes Claros, Nova Porteirinha, Olhos D'água, Pirapora, Porteirinha, São Francisco, Várzea da Palma e Verdelândia), **Sul/Sudoeste de Minas** (municípios de Delfinópolis, Pratápolis e São Sebastião do Paraíso) e do **Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba** (municípios de Araguari, Comendador Gomes, Conceição das Alagoas, Frutal, Ituiutaba, Iturama, Lagoa Formosa, Monte Alegre de Minas, Patrocínio, Prata, Sacramento, São Francisco de Sales, Uberaba, Uberlândia e Veríssimo). Por sua vez, em **São Paulo** as áreas aptas foram observadas

nas macrorregiões de Araçatuba (municípios de Alto Alegre, Araçatuba, Brejo Alegre, Clementina, Coroados e Piacatu), de **Araraquara** (municípios de Araraquara, Borborema, Ibitinga, Itápolis e Motuca), de **Assis** (municípios de Nantes, Quatá e Sarutaiá), de **Bauru** (municípios de Balbinos, Botucatu, Cafelândia, Duartina, Guaimbê, Guarantã, Lins, Piratininga e Sabino), de **Campinas** (municípios de Aguai, Artur Nogueira, Campinas, Casa Branca, Engenheiro Coelho, Estiva Gerbi, Itobi, Mogi Guaçu, Mogi Mirim, Santo Antonio de Posse e Tambaú), de **Marília** (Marília e Ocaçu), de **Piracicaba** (municípios de Conchal, Iracemópolis, Limeira e Rio Claro), de **Presidente Prudente** (municípios de Adamantina, Álvares Machado, Anhumas, Caiabu, Caiuá, Dracena, Emilianópolis, Flora Rica, Flórida Paulista, Irapuru, Junqueirópolis, Mariópolis, Mirante do Paranapanema, Osvaldo Cruz, Ouro Verde, Pacaembu, Parapuã, Pracinha, Presidente Epitácio, Presidente Prudente, Presidente Venceslau, Rinópolis, Salmourão, Santo Anastácio, Taciba e Tupi Paulista), de **Ribeirão Preto** (Barretos, Bebedouro, Cândido Rodrigues, Colômbia, Fernando Prestes, Guará, Ituverava, Jardinópolis, Miguelópolis, Monte Alto, Monte Azul Paulista, Orlandia, Pedregulho, Pirangi, Pitagueiras, Ribeirão Preto, Sales de Oliveira, Santa Ernestina, Santo Antonio da Alegria, Taiacu, Taiúva, Taquaral, Taquaritinga e Vista Alegre do Alto) e de **São José do Rio Preto** (Álvares Florence, Américo de Campos, Bady Bassitt, Catanduva, Cedral, Cosmorama, Elisiário, Floreal, Guaraci, Ibirá, Ipiranga, Itajobi, Jaci, José Bonifácio, Magda, Marapoama, Monte Aprazível, Neves Paulista, Nhandeara, Nova Aliança, Olímpia, Paraíso, Pindorama, Potirendaba, Santa Adélia, São José do Rio Preto, Sebastianópolis do Sul, Tabapuã, Tanabi, Ubarana, Uchoa e Urupês).

Ainda conforme o zoneamento obtido, a aptidão foi notada também na **Região Centro-Oeste** do país, ocorrendo no estado de **Goiás**, na **macrorregião Leste Goiano** (município de Formosa), em **Mato Grosso**, na **macrorregião Norte Mato-Grossense** (município de Comodoro), e no **Mato Grosso do Sul**, na **macrorregião Pantanais Sul Mato-Grossense** (município de Corumbá).

Na **região Norte**, a aptidão deu-se somente no estado de **Rondônia**, nas **macrorregiões do Leste Rondoniense** (município de Alto Alegre dos Parecis) e na de **Madeira-Guaporé** (municípios de Alta Floresta D'Oeste e de São Francisco do Guaporé).

Já na **região Sul** foi observada favorabilidade ocorrendo somente no estado do **Paraná**, nas **macrorregiões do Noroeste Paranaense** (municípios de Alto Paraná, Altônia, Cianorte, Esperança Nova, Iporã, Itaúna do Sul, Ivaté, Maria Helena, Marilena, Paranaíba, Perobal, Pérola, São Jorge do Patrocínio, Umarama e Xamberê), na do **Norte Central Paranaense** (municípios de Cafeara, Florai, Londrina, Madaguaçu, Maringá, Nova Esperança e São Jorge do Ivaí) e na do **Norte Pioneiro Paranaense** (municípios de Carlópolis, Conselheiro Mairinck, Figueira, Ibaiti, Jaboti, Jacarezinho, Japira, Pinhalão, Santana do Itararé, Siqueira Campos e Tomazina).

Desse modo, nas áreas frágeis com cultivos de manga ou mamão acima indicadas, principalmente nas grandes áreas produtoras dessas frutíferas (assinaladas pelo

sublinhado), caso a PQA *A. curvicauda* venha a ocorrer no Brasil, existe grande potencial para uso do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* como estratégia de controle biológico, em pelo menos um mês do ano, como principal alternativa à ausência de controle químico favorável ao uso nessas áreas frágeis.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em caso de ingresso da PQA *A. curvicauda* no país, uma maior necessidade de uso de controles químico ou biológico desse inseto-praga é esperada em áreas com presença de seus cultivos hospedeiros. Por essa razão, os zoneamentos territoriais de áreas aptas ao parasitoide *D. longicaudata* e à PQA *A. curvicauda*, em pelo menos um mês do ano, realizados e aqui apresentados considerando localidades com ocorrência de frutíferas de mamão ou manga são estratégicos para orientar políticas públicas nacionais.

Municípios brasileiros foram identificados a partir desses zoneamentos, sinalizando locais de maior eficácia no emprego da estratégia de controle biológico pelo parasitoide *D. longicaudata* com foco na PQA *A. curvicauda*. Acrescenta-se ainda que essa alternativa de biocontrole também poderia ser utilizada nas áreas frágeis nacionais, assinaladas em zoneamento aqui apresentado, onde o uso de agrotóxicos com princípios ativos de maior potencial de transportes por lixiviação e/ou por escoamento superficial deveriam ser evitados. Nesse particular, os municípios aptos ao parasitoide em áreas das frutíferas hospedeiras de mamão ou manga foram aqui nominados.

Contudo, os resultados apresentados não consideraram áreas municipais com as frutíferas de manga ou mamão inferiores a 50 plantas e nem aquelas presentes em áreas urbanas (residências, praças, por exemplo) ou indígenas, pela inexistência de informações oficiais nacionais. Essas áreas podem igualmente servir de abrigo e viabilizar dispersões do inseto-praga para outras áreas. Do mesmo modo, situações específicas presentes em áreas irrigadas no território brasileiro não foram aqui consideradas, pela ausência de dados climáticos nacionais oficiais disponibilizados para as áreas de cultivos irrigados do país. Nesse particular, salienta-se que a irrigação por microaspersão pode favorecer a ocorrência de microclimas específicos, que podem favorecer a aptidão ao desenvolvimento de insetos-pragas quarentenários nessas condições (PESSOA et al., 2016).

REFERÊNCIAS

AUSTRALIA PLANT HEALTH. *Toxotrypana curvicauda*. Fruit Fly ID Australia, 2021. Disponível em: <https://fruitflyidentification.org.au/species/anastrepha-curvicauda/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

BARBOSA, F. F. L.; ALEXANDRE, J. R.; MORAIS, E. F.; LOHMANN, T.; SILVA, M. L. da. **Priorização de pragas quarentenárias ausentes: metodologia e lista das 20 pragas mais importantes**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2017. 24p. il. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Documentos, 220). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170414/1/DOC-220-Laranja-Ainfo.pdf> Acesso em: 12 jul. 2022.

BOSCÁN, N.; GODOY, F. **Levels of infestation of the papaya fruit fly *Toxotrypana curvicauda* Gerst.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRUIT FLIES OF ECONOMIC IMPORTANCE, 1., 1998, Canoabo and Bejuma, Venezuela. [Abstracts...]. Penang, Malaysia: FAO/IAEA, 1998. p. II-19.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA (SDA). **Portaria SDA nº 617 de 11 de julho de 2022.** Diário Oficial da União (DOU), n. 130, Seção 1, pg.09-13, de 12/07/2022. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=515&pagina=9&data=12/07/2022>

CRIA. Centro de Referência de Informação Ambiental. **OpenModeller.** Disponível em: <http://openmodeller.cria.org.br/modelagem>. Acesso em: 30 jun. 2021.

FERRACINI, V. L.; PESSOA, M. C. P. Y.; MINGOTI, R.; RAMOS, G. G.; JACOMO, B. de O.; GOMES, M. A. F.; MARINHO-PRADO, J. S.; PARANHOS, B. G. A. Estratégias prospectivas de uso de controle químico para o manejo sustentável de *Anastrepha curvicauda* em mamão. In: OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; CALVÃO, L. B. (org). **Entomologia: estudos sobre a biodiversidade, fisiologia, controle e importância médica dos insetos 2.** Ponta Grossa, PR: Atena, 2022a. cap. 2. p. 14-50. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1151842/1/Ferracini-Estrategias-prospectivas-2022.pdf> Acesso em: 10/01/2023.

FERRACINI, V. L.; PESSOA, M. C. P. Y.; MINGOTI, R.; RAMOS, G. G.; JACOMO, B. de O.; GOMES, M. A. F.; DAMACENO, T. G.; SIQUEIRA, C. de A. Avaliação de potencial controle químico de *Anastrepha curvicauda* em cultivo de mamão nacional por modelagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 28., 2022b, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, CE: SEB, 2022. p. 904. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1150548/1/RA-FerraciniVL-et-al-XXVIII-CBE-2022-p904.pdf> Acesso em: 04/02/2023.

FERRACINI, V. L. F.; PESSOA, M. C. P. Y. P.; MINGOTI, R.; GOMES, M. A. F.; MARINHO-PRADO, J. S.; RAMOS, G. G.; DAMACENO, T. G.; SIQUEIRA, C. de A.; JACOMO, B. de O. **Seleção de produtos químicos para o controle de *Aleurocanthus woglumi* e de *Drosophila suzukii*.** Jaguariúna, SP: Embrapa, 22/dezembro/2020. 74p. (Relatório Técnico comprovação entrega resultado ProjDEFESAINSETOS enviado DSV/SDA/Mapa)

FIDELIS, E. G.; LOHMANN, T. R.; SILVA, M. L. da; PARIZZI, P.; BARBOSA, F. F. L. (Ed.). **Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa, 2018a, 510 p. il. p. 73-94. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108710/priorizacao-de-pragasquarentenarias-ausentes-no-brasil>.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY (GBIF). **Free and open access to biodiversity data.** Disponível em: <https://www.gbif.org>. Acesso em: 20 jun. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Municipais – Ano-base 2018.** Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2018/Brasi I/BR/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2018/Brasi%20I/BR/) Acesso em: 02 out. 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET.** Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> Acesso em: 17 ago. 2020.

JACOMO, B. de O.; MINGOTI, R.; PESSOA, M. C. P. Y.; MARINHO-PRADO, J. S. Estimativa de nicho ecológico de *Anastrepha curvicauda* em território brasileiro por algoritmos de modelagem. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., 2021, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto de Zootecnia, 2021. 12 p. Evento online. CIIC 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/225838/1/5955.pdf> Acesso em: 20 set. 2021.

MARTINEZ, J. C.; BURBANO, O. I. I. Survey of fruit fly parasitoids and predators in cultivated and wild host in the province of Vélez (Santander- Colombia). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRUIT FLIES OF ECONOMIC IMPORTANCE, 7.; MEETING OF THE WORKING GROUP ON FRUIT FLIES OF THE WESTERN HEMISPHERE, 6., 2006, Salvador. **Proceedings...** Salvador: Fruitfly, 2006.

MINGOTI, R.; PESSOA, M. C. P. Y.; JACOMO, B. DE O.; MARINHO-PRADO, J. S.; PARANHOS, B. A. J. Territorial zoning of Brazilian areas favorable to *Anastrepha curvicauda* (Diptera: Tephritidae) in papaya crop. **Journal of Agricultural Sciences Research**, v. 2, n. 3, p.10, 2022a. Disponível em:

MINGOTI, R.; PESSOA, M. C. P. Y.; MARINHO-PRADO, J. S.; JACOMO, B. de O.; SIQUEIRA, C. de A.; PARANHOS, B. A. G. Prospecção de áreas brasileiras favoráveis à *Anastrepha curvicauda* em fruteiras de mamão ou manga. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 28., 2022b, Fortaleza. Biodiversidade: conhecer, conservar e utilizar: **anais**. Fortaleza: SEB, 2022. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1150559/1/RA-PessoaMCPY-et-al-XXVIII-CBE-2022-p905.pdf> Acesso em: 13/jul/2023.

MINGOTI, R.; PESSOA, M. C. P. Y.; MARINHO-PRADO, J. S.; PARANHOS, B. de A. G.; PEREIRA, C. C.; GARCIA, J. B. **Zoneamentos territoriais de áreas brasileiras mais favoráveis ao desenvolvimento de bioagentes utilizados em outros países para o controle das pragas quarentenárias ausentes *Anastrepha curvicauda* (syn. *Toxotrypana curvicauda*), *Lobesia botrana* e *Bactrocera dorsalis***, Campinas/SP: Embrapa, 2022c. 48p. (Relatório Técnico comprovação entrega resultado ProjDEFESAINSETOS)

NORRBOM, A. L.; BARR, N. B.; KERR, P.; MENGUAL, X.; NOLAZCO, N.; RODRIGUEZ, E. J.; STECK, G. J.; SUTTON, B. D.; URAMOTO, K.; ZUCCHI, R. A. Synonymy of *Toxotrypana* Gerstaecker with *Anastrepha* Schiner (Diptera: Tephritidae). **Proceedings of the Entomological Society of Washington**, v. 120, n. 4, p.834-841, 2018.

PALADINO, L.Z.; PAPESCHI, A.G.; CLADERA, J.L. Immature stages of development in the parasitoid wasp, *Diachasmimorpha longicaudata*. **Journal of Insect Science**. 2010, v.10, n.56. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3014816/> ou em doi: 10.1673/031.010.5601. PMID: 20569133; PMCID: PMC3014816.

PEREIRA, C. C.; MINGOTI, R.; MARINHO-PRADO, J. S.; PARANHOS, B. G. A.; PESSOA, M. C. P. Y. Zoneamento territorial de áreas favoráveis ao melhor desenvolvimento de *Diachasmimorpha longicaudata*. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2022, Campinas. **Anais...**Campinas: Instituto Agrônômico, 2022. Evento online. CIIC 2022. N° 22501. p. 1-10.

PESSOA, M. C. P. Y.; MARINHO-PRADO, J. S.; MINGOTI, R.; PRADO, S. de S.; LOVISI FILHO, E.; SILVA, A. de S.; MOURA, M. S. B. de; SILVA FILHO, P. P. da; SÁ, L. A. N. de; PRADO, S. de S.; SPADOTTO, C. A.; FARIAS, A. R. **Estimativas de potencial adaptação de *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (Praga Quarentenária A2) – Estudo de caso para dois perímetros irrigados do Vale do São Francisco**. Campinas, SP: Embrapa Gestão territorial, 2016c. 2 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161389/1/20161202-NotaTecnica-9.pdf> Acessado em: 21. out. 2021.

ROHR, R. A.; JANNKE, S. M.; REDAELLI, L. R. Does *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) have a preferential instar to parasitize Tephritidae (Diptera)? **Iheringia**, Série. Zoologia, v. 109, p. 7, p. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2019014>.