

**GIL KLEVES ARAÚJO SOARES**

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE *Bactrocera carambolae*  
(Diptera:Tephritidae) USANDO CLIMEX**

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

Orientadora: Elisangela Gomes Fidelis

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2021**

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

T

S676d  
2021 Soares, Gil Kleves Araújo, 1982-  
Distribuição espaço-temporal de *Bactrocera carambolae*  
(Diptera: Tephritidae) usando CLIMEX / Gil Kleves Araújo  
Soares. – Viçosa, MG, 2021.  
36 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Elisangela Gomes Fidelis.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 33-36.

1. Mosca-das-frutas. 2. Carambola - Doenças e pragas.  
3. Frutas - Cultivo. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Entomologia. Pós-Graduação em Defesa  
Sanitária Vegetal. II. Título.

CDD 22. ed. 595.773

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

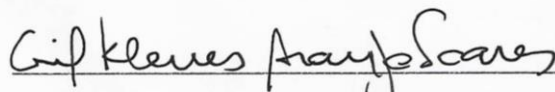
**GIL KLEVES ARAÚJO SOARES**

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE *Bactrocera carambolae* (DIPTERA:  
TEPHRITIDAE) USANDO CLIMEX**

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

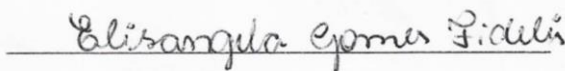
APROVADA: 20 de maio de 2021.

Assentimento:



Gil Kleves Araújo Soares

Autor



Elisangela Gomes Fidelis

Orientadora

## AGRADECIMENTOS

À professora orientadora Dr<sup>a</sup>. Elisangela Gomes Fidelis, pela orientação paciente, compreensiva e dedicada, possibilitando a concretização desse projeto.

Aos coorientadores Dr. Rodrigo Soares Ramos e Dr. Jefferson Luiz de Aguiar Paes, pela dedicação, ensinamentos, aconselhamentos e estímulo constante.

Ao Departamento de Sanidade Vegetal do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SDR – MAPA), e Superintendência Federal de Agricultura de Roraima (SFA – RR), pela disponibilização de dados de campo.

À banca examinadora, por disponibilizar do seu tempo e conhecimento a fim de contribuir para a melhoria desse trabalho.

Aos meus pais Moura Gil (*in memoriam*) e Jurandir Maria, pelo amor, ensinamentos de vida e incentivo para superar dificuldades.

A minha esposa Ana Caroline pelo companheirismo, compreensão e carinho durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

A minha filha Marina, pela espontaneidade, carinho e amor que sempre me estimularam nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos Jonnas e Karoline, que sempre encheram minha vida de amor e humor, pelo carinho e torcida.

Ao tutor Elizeu Farias, pela colaboração no desenvolvimento das análises, sendo sempre prestativo e atencioso quando solicitado.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo e conhecimento compartilhado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização dessa dissertação, os meus sinceros agradecimentos.

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

## RESUMO

SOARES, Gil Kleves Araújo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2021. **Distribuição espaço-temporal de *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae) usando CLIMEX.** Orientadora: Elisangela Gomes Fidelis.

A mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* Drew e Hancock (Diptera: Tephritidae), é a principal praga que ameaça a fruticultura brasileira, podendo ocasionar sérios prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Originária do sudeste asiático, *B. carambolae* foi identificada no Brasil em 1996, e atualmente encontra-se nos estados do Amapá, meio norte de Roraima e região norte do Pará. Para reduzir a ameaça da dispersão de *B. carambolae* para outros países e regiões brasileiras, e para evitar prejuízos no comércio de frutas, uma avaliação do risco potencial de estabelecimento desta praga é necessária para prever quais regiões são adequadas para a espécie. Nesse estudo foi utilizado o modelo CLIMEX para depreender a resposta de *B. carambolae* ao clima, e determinar sua distribuição global potencial. Baseado em parâmetros ecofisiológicos, o modelo simula os fatores que limitam a distribuição das espécies em relação ao clima, e possibilita observar, por meio de sequências de mapas, como essa adequação muda tanto no espaço quanto no tempo. Para avaliar a variação sazonal da densidade de *B. carambolae*, foram utilizados dados de monitoramentos do Subprograma *Bactrocera carambolae*, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em quatro municípios do estado de Roraima (Bonfim, Normandia, Pacaraima e Uiramutã), de 2018 e 2019. De acordo com a previsão CLIMEX, grande parte da América do Sul e Central, Caribe, África e Ásia, especialmente nas áreas mais próximas à linha do equador, é altamente adequada para a sobrevivência de *B. carambolae*. O Brasil apresenta, em boa parte de seu território, alta adequabilidades para *B. carambolae*, sobretudo as regiões norte, sul e sudeste, além de toda a área litorânea e da região leste de Mato Grosso. Os períodos de maior adequabilidade climática, nas cinco regiões brasileiras, são de janeiro a maio e de outubro a dezembro. As infestações de *B. carambolae* em Roraima estão relacionadas positivamente com a precipitação e a temperatura, e negativamente com a velocidade dos ventos. Essas informações podem auxiliar na adoção de estratégias de controle, monitoramento e alocação de barreiras fitossanitárias pelo Programa Nacional de Erradicação e com isso reduzir o risco de dispersão de *B. carambolae* para outras regiões.

**Palavras-chave:** Mosca-da-carambola. Praga quarentenária. Amazônia. Fruticultura.

## ABSTRACT

SOARES, Gil Kleves Araújo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2021. **Spatio-temporal distribution *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae) using CLIMEX.** Advisor: Elisangela Gomes Fidelis.

The carambola fruit fly, *Bactrocera carambolae* Drew and Hancock (Diptera: Tephritidae), is the main pest that threatens Brazilian fruit culture, and can cause serious economic, social and environmental losses. Originating from Southeast Asia, *B. carambolae* was identified in Brazil in 1996, and is currently found in the states of Amapá, middle north of Roraima and northern region of Pará. To reduce the threat of *B. carambolae* dispersion to other countries and Brazilian regions, and to avoid damage in the fruit trade, an assessment of the potential risk of establishing this pest is necessary to predict which regions are suitable for the species. In this study, the CLIMEX model was used to understand the response of *B. carambolae* to the climate, and to determine its potential global distribution. Based on ecophysiological parameters, the model simulates the factors that limit the distribution of species in relation to the climate, and makes it possible to observe, through map sequences, how this adaptation changes both in space and in time. To assess the seasonal variation in the density of *B. carambolae*, monitoring data from the *Bactrocera carambolae* Subprogram, of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply, was used of four municipalities in the state of Roraima (Bonfim, Normandia, Pacaraima and Uiramutã) from 2018 to 2019. According to the CLIMEX forecast, a large part of America, Africa and Asia, mainly in the areas closest to the equator, is highly suitable for the survival of *B. carambolae*. Brazil has, in a good part of its territory, a high suitability for *B. carambolae*, especially the North, South and Southeast regions, in addition to the entire coastal area and the eastern region of the State of Mato Grosso. The periods of highest climatic suitability, in the five Brazilian regions, are from January to May and from October to December. *Bactrocera carambolae* infestations in Roraima are positively related to precipitation and temperature, and negatively related to wind speed. This information can be useful for the adoption of control strategies, monitoring and phytosanitary barriers allocation by the National Eradication Program and thereby reduce the risk of *B. carambolae* dispersion to other regions.

**Keywords:** Carambola fruit fly. Quarantine pest. Amazonia. Fruit growing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Armadilhas tipo Jackson (A) e McPhail (B).....	15
Figura 2 - Modelo usando CLIMEX para o clima atual: Inadequado (IE= 0), adequado ( $0 < EI \leq 30$ ), alta adequabilidade ( $30 < EI \leq 100$ ).....	18
Figura 3 - Pontos de ocorrência de <i>Bactrocera carambolae</i> , com a distribuição atual de <i>B. carambolae</i> e a região de validação do modelo baseado no índice ecolimático IE. As áreas em branco (IE = 0), laranja ( $0 < IE \leq 30$ ), marrom ( $30 < IE \leq 100$ ). ....	19
Figura 4 - Variabilidade climática por mês, com base no índice de crescimento (0 a 1) para <i>Bactrocera carambolae</i> na América do Sul em A) 2018 e B) 2019.....	20
Figura 5 - Variabilidade climática por mês com base no índice de crescimento (0 a 1) - GIw para <i>Bactrocera carambolae</i> nos municípios de Bonfim, Normandia, Pacaraima e Uiramutã de 2018 e 2019. ....	22
Figura 6 - Média de adultos de <i>Bactrocera carambolae</i> capturados por armadilha Jackson e McPhail nos municípios de Bonfim, Normandia, Pacaraima e Uiramutã, de janeiro de 2018 a dezembro de 2019.....	23
Figura 7 - Precipitação (mm) e temperatura média diária (°C) nos quatro municípios de Roraima: A) Bonfim, B) Normandia, C) Pacaraima e D) Uiramutã, em 2018 e 2019. ....	24
Figura 8 - Valores estimados de adultos de <i>Bactrocera carambolae</i> capturados em armadilhas no estado de Roraima em função (a) da temperatura, (b) precipitação pluviométrica e (c) velocidade do vento. Na figura são exibidos os valores preditos (linha sólida) e seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade (sombreamento cinza).....	26
Figura 9 - Média de adultos de <i>Bactrocera carambolae</i> capturados de 2013 a 2020 em municípios do estado de Roraima. O diâmetro dos círculos é proporcional à densidade de <i>B. carambolae</i> .....	27

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores dos parâmetros usados no ajuste para o modelo *Bactrocera carambolae* realizado no CLIMEX. .... 12
- Tabela 2 - Resultados dos modelos lineares generalizados (GLM com distribuição binomial negativa e função de ligação log) verificando o efeito de variáveis climáticas (temperatura, precipitação e velocidade do vento) no número de capturas de adultos de *B. carambolae*, de 2013 a 2020 (n = 299). Os modelos foram elaborados usando médias de diferentes intervalos (10, 20 e 30 dias anteriores às amostragens) das variáveis climáticas, sendo selecionado aquele apresentando o menor AIC (Akaike Information Criteria). .... 25
- Tabela 3 - Resultado do modelo linear generalizado (GLM com distribuição binomial negativa e função de ligação log) verificando o efeito de variáveis climáticas (médias de temperatura, precipitação e velocidade do vento, 20 dias anteriores às avaliações) no número de capturas de adultos de *Bactrocera carambolae* no estado de Roraima, de 2013 a 2020 (n = 299). .... 25

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
2	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	11
2.1	Distribuição de <i>Bactrocera carambolae</i> .....	11
2.2	Modelo CLIMEX .....	11
2.3	Parâmetros de calibração no software CLIMEX e validação de modelo.....	11
2.5.1	Índice de temperatura.....	12
2.5.2	Índice de umidade .....	12
2.5.3	Índices de estresse.....	13
2.5.3.1	Estresse pelo frio.....	13
2.5.3.2	Estresse por calor .....	14
2.5.3.3	Estresse seco .....	14
2.5.3.4	Estresse úmido .....	14
2.4	Dados meteorológicos .....	14
2.5	Validação do modelo.....	14
2.6	Monitoramento de <i>Bactrocera carambolae</i> .....	14
2.7	Dados climáticos diários dos quatro municípios monitorados.....	16
2.8	Efeito do clima sobre a dinâmica populacional de <i>Bactrocera carambolae</i> .....	16
2.9	Distribuição espaço-temporal de <i>Bactrocera carambolae</i> em Roraima .....	17
3	<b>RESULTADOS</b> .....	18
3.1	Potencial distribuição de <i>Bactrocera carambolae</i> .....	18
3.2	Variabilidade climática mensal .....	20
3.3	Dinâmica populacional e validação do modelo .....	22
3.4	Efeito do clima sobre a dinâmica populacional de <i>Bactrocera carambolae</i> .....	25
3.5	Distribuição espaço-temporal de <i>Bactrocera carambolae</i> em Roraima .....	26
4	<b>DISCUSSÃO</b> .....	28
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

A família Tephritidae (moscas-das-frutas) é uma das maiores famílias da ordem Díptera, contendo aproximadamente 4.500 espécies de 500 gêneros (FREIDBERG, 2006; LI, 2013). As moscas-das-frutas são encontradas em praticamente todas as regiões de fruticultura do mundo e são consideradas as mais importantes pragas da fruticultura (WHITE e ELSON-HARRIS, 1992; DE MEYER et al., 2010). Os gêneros de maior importância são *Anastrepha*, *Bactrocera*, *Ceratitis*, *Dacus* e *Rhagoletis* (WHITE e ELSON HARRIS, 1992).

Além dos elevados custos de controle, as moscas-das-frutas limitam a comercialização no mercado internacional, devido a barreiras fitossanitárias e exigências quarentenárias impostas por países importadores de fruta in natura. (DE MEYER et al., 2010; BARRETO et al., 2011; SILVA, 2010). Estima-se que os prejuízos causados pelo ataque de moscas-das-frutas na fruticultura brasileira estejam entre U\$ 120 e 200 milhões anuais (ZUCCHI et al., 2004).

A mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* Drew e Hancock (Diptera: Tephritidae), é uma das principais pragas que ameaça a fruticultura brasileira (GODOY et al., 2011). Ela é originária do sudeste asiático e foi identificada no continente americano pela primeira vez em 1975, no Suriname, provavelmente devido ao comércio de frutas da Indonésia em pequena escala, entrando posteriormente, em 1989, na Guiana Francesa, e no Brasil em 1996, no estado do Amapá (IWAHASHI, 1996; SILVA, 2005; MALAVASI, 2015). Atualmente, é considerada praga quarentenária presente, encontrando-se nos estados do Amapá, meio norte de Roraima e região norte do Pará (BRASIL, 2018; SILVA, 1997).

Os riscos de dispersão de *B. carambolae* para áreas indenes devem ser considerados, pois a espécie possui uma grande quantidade de hospedeiros, podendo infestar plantas pertencentes a diferentes famílias. De acordo com Malavasi (2015), na sua região de origem - Indonésia, Malásia e Tailândia - *B. carambolae* pode atacar cerca de 100 espécies de fruteiras. Na América do Sul, estudos realizados no Suriname e Brasil, já identificaram cerca de 30 hospedeiros da mosca-da-carambola, incluindo plantas nativas, como cajá (*Spondias mombin* L.); pitanga (*Eugenia uniflora* L.); caju (*Anacardium occidentale* L.); acerola (*Malpighia puniceifolia* L), entre outras (SILVA, 1997; ADAIME et al., 2016; SAUERS-MULLER, 2005).

A detecção e o posterior estabelecimento de *B. carambolae* em áreas produtoras pode resultar em sérios prejuízos econômicos, além de danos ambientais relacionados à maior

utilização de agrotóxicos. Estudos sobre os danos econômicos e ambientais que podem ser ocasionados pela dispersão da espécie no Brasil, estão estimados em US\$ 30,8 milhões no primeiro ano e US\$ 92,4 milhões no terceiro ano (SILVA, 2005; GODOY et al., 2011). No entanto, apesar de seu potencial de invasão, poucos trabalhos foram realizados para avaliar o potencial de *B. carambolae* para se estabelecer em novas áreas, ou identificação das condições climáticas limitantes para a espécie.

No presente estudo, utilizamos o modelo CLIMEX para depreender a resposta de *B. carambolae* ao clima, e determinar sua distribuição global potencial. O modelo CLIMEX, em parte, baseia-se no seguinte pressuposto: sabendo-se onde uma espécie vive, é possível inferir quais condições climáticas essa espécie pode tolerar (KRITICOS et al., 2015). Ele simula, baseado em parâmetros ecofisiológicos, os fatores que limitam a distribuição das espécies em relação ao clima, criando sequências de mapas, que possibilitam observar como a adequação muda tanto no espaço quanto no tempo, permitindo que o usuário consiga avaliar a distribuição geográfica potencial das espécies (KRITICOS et al., 2015).

Portanto, considerando a importância de compreender a dinâmica dos padrões de sazonalidade de *B. carambolae*, o objetivo neste estudo foi realizar uma projeção a nível global, identificando as áreas que possuem maiores riscos de serem colonizadas por *B. carambolae*, determinar a variabilidade sazonal, e aferir essa relação com fatores climáticos de precipitação e temperatura.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Distribuição de *Bactrocera carambolae*

Foram utilizados 100 registros de localização de *B. carambolae* da literatura publicada (SILVA, 2010; MARCHIORO, 2016; DEUS et al., 2016; SOLSA, 2015; ADAIME et al., 2016; LEMOS et al., 2010) e do Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Estes dados são mostrados na Figura 2.

### 2.2 Modelo CLIMEX

Para estudar a dinâmica espaço-temporal da adequação climática de *B. carambolae* utilizamos o CLIMEX, que consiste em um modelo que simula limitações de distribuição geográfica de uma espécie em relação ao clima, e assim permite estimar a distribuição geográfica potencial de uma espécie, baseado em suas preferências climáticas (KRITICOS et al., 2015). A partir do conhecimento dos valores dos parâmetros biológicos, dos dados de distribuição e dos locais de ocorrência, estimam-se as respostas da espécie a condições climáticas adversas, delimitando assim sua distribuição geográfica (KRITICOS et al., 2015). Os dados de ocorrência da espécie são usados para validar os parâmetros do modelo através de um procedimento iterativo, onde os parâmetros biológicos da espécie são ajustados até que o intervalo projetado esteja adequado com a distribuição conhecida da espécie (SUTHERST, 2003).

O índice Ecoclimático (IE) é considerado um índice médio anual, onde são combinados índices de crescimento e estresses. Esse índice fornece uma medida geral do potencial de um determinado local para sustentar uma espécie, variando em uma escala de 0 a 100. Valores próximos a 0 indicam que o local é inadequado para o estabelecimento da espécie, e valores acima de 30 representam um clima altamente favorável (KRITICOS et al., 2015).

### 2.3 Parâmetros de calibração no software CLIMEX e validação de modelo

O modelo CLIMEX foi ajustado para *B. carambolae*, levando em consideração os registros de ocorrência e dados biológicos da espécie. Os valores dos parâmetros, como requisitos térmicos, índice de umidade e índices de estresse (frio, calor seco e estresse úmido), foram adquiridos através de dados biológicos de uma revisão da literatura (DANJUMA et al., 2014.; DE VILLIERS et al., 2016). No modelo, usamos os dados climáticos em grade do CliMond 10 ' para modelagem no CLIMEX. Temperatura média mínima mensal (Tmin),

temperatura média mensal máxima (Tmax), precipitação média mensal (Ptotal) e umidade relativa às 09:00 h (RH09: 00) e 15:00 h (RH15: 00) foram utilizados para representar o clima histórico (dados de 1961 a 1990, 30 anos centrados em 1975). Dessa forma, todos os valores foram ajustados de acordo com os registros de localização da espécie e com a precisão da previsão do modelo gerado pelo CLIMEX (Figura 2).

### 2.5.1 Índice de temperatura

Danjuma et al. (2014), em estudo sobre o efeito da temperatura no desenvolvimento e sobrevivência de estágios imaturos da mosca-da-carambola, indicaram um limiar de eclosão para ovos de *B. carambolae* em 12,4 °C, e nenhuma emergência de adultos a 35 °C. Portanto, utilizamos uma temperatura limite baixa (DV0) de 12,4 °C e uma temperatura alta limite (DV3) de 35 °C. Temperaturas de 25 a 30 °C apresentaram maiores taxas de sobrevivência para *B. carambolae*. Assim, definimos como temperatura ideal mais baixa (DV1) 25 °C e temperaturas ótimas superiores (DV2) em 27 °C. A quantidade de graus dia necessários para *B. carambolae* completar seu ciclo de vida foi definida em 371,4 °C dia (DANJUMA et al., 2014) (Tabela 1).

### 2.5.2 Índice de umidade

Para o índice de umidade do solo, foi utilizado 0,1 como um limite inferior de umidade do solo (SM0) e 0,5 e 1,75, respectivamente, para umidade do solo ideal inferior (SM1) e superior (SM2), e 2 para o limiar superior de umidade do solo (SM3). Todos esses dados foram utilizados baseando-se na literatura (AMARAL, 2021), e ajustes visando um melhor resultado do modelo, de acordo com os registros de localização de *B. carambolae* e outras espécies do mesmo gênero (DE VILLIERS et al., 2016).

Tabela 1 - Valores dos parâmetros usados no ajuste para o modelo *Bactrocera carambolae* realizado no CLIMEX.

Índice	Parâmetro	Valores	Unidade
<b>Temperatura</b>	DV0 = limiar inferior	12.4	°C
	DV1 = temperatura ideal mais baixa	25	°C
	DV2 = temperatura ótima superior	27	°C
	DV3 = limiar superior	35	°C

<b>Umidade</b>	SM0 = limiar de umidade do solo mais baixo	0.1	a
	SM1 = menor umidade ideal do solo	0.5	a
	SM2 = umidade ótima do solo superior	1.75	a
	SM3 = limiar superior de umidade do solo	2	a
<b>Estresse – Frio</b>	TTCS = limiar de temperatura	2	°C
	THCS = taxa de acumulação de estresse	-0.1	Semana <sup>-1</sup>
	DTCS = limiar de graus-dia	20	°C dias
	DHCS = taxa de acumulação de estresse	-0.00025	Semana <sup>-1</sup>
<b>Estresse - Calor</b>	TTHS = limiar de temperatura	36	°C
	THHS = taxa de acumulação de estresse	0.005	Semana <sup>-1</sup>
<b>Estresse – Seca</b>	SMDS = limiar de umidade do solo	0.1	
	HDS = taxa de acumulação de estresse	-0.005	Semana <sup>-1</sup>
<b>Estresse - Umidade</b>	SMWS = limiar de umidade do solo	2	a
	HWS = taxa de acumulação de estresse	0.002	Semana <sup>-1</sup>
<b>Graus dias</b>	PDD = graus dias por geração	371.4	°C dias

### 2.5.3 Índices de estresse

#### 2.5.3.1 Estresse pelo frio

Para o limiar de graus-dia (DTCS), utilizamos 20 °C dias, já para graus-dia de estresse pelo frio (DHCS), -0,00025 semana<sup>-1</sup>. Os valores utilizados, foram selecionados baseando-se em dados encontrados na literatura, e que apresentaram semelhanças para a distribuição de *B. carambolae* (Tabela 1).

### 2.5.3.2 Estresse por calor

Nenhuma emergência de adultos foi encontrada em temperaturas de 35 °C (DANJUMA et al., 2014). Portanto, o parâmetro de estresse por calor (TTHS) ficou definido em 36 °C, e a taxa de acúmulo (THHS) ficou estabelecida em 0,005 semana<sup>-1</sup>.

### 2.5.3.3 Estresse seco

As distribuições de *B. carambolae* ocorrem predominantemente em regiões tropicais e subtropicais, que apresentam clima quente e úmido. Para o nosso nível limite de umidade do solo (SMDS), definimos em 0,1 e para a taxa de acumulação de estresse (HDS) em - 0,005 semana<sup>-1</sup>.

### 2.5.3.4 Estresse úmido

O estresse por umidade pode afetar negativamente o desenvolvimento dos insetos, prejudicando o desenvolvimento de pupas e emergência de adultos (AMARAL et al., 2021). Para estresse úmido, o limiar de umidade do solo (SMWS) foi fixado em 2,0, e a taxa de acumulação de estresse (HWS) em 0,002 semana<sup>-1</sup> (Tabela 1).

## 2.4 Dados meteorológicos

Para realizar a comparação dos locais, utilizamos a série temporal de dados climáticos CRU TS3.23 (Unidade de Pesquisa Climática (CRU) Série Temporal (TS) Versão 3.23), onde foram utilizadas resolução de variações de clima mensais. Em seguida, rodamos o modelo CLIMEX considerando o período de 2018 e 2019, representando o período de monitoramento da *B. carambolae* em Roraima.

## 2.5 Validação do modelo

As densidades de capturas de adultos de *B. carambolae* em dois anos de monitoramento da mosca-da-carambola, em quatro municípios de Roraima (Bonfim, Pacaraima, Normandia e Uiramutã), dos anos de 2018 a 2020, foram comparados com mapas mensais criados para o mesmo período.

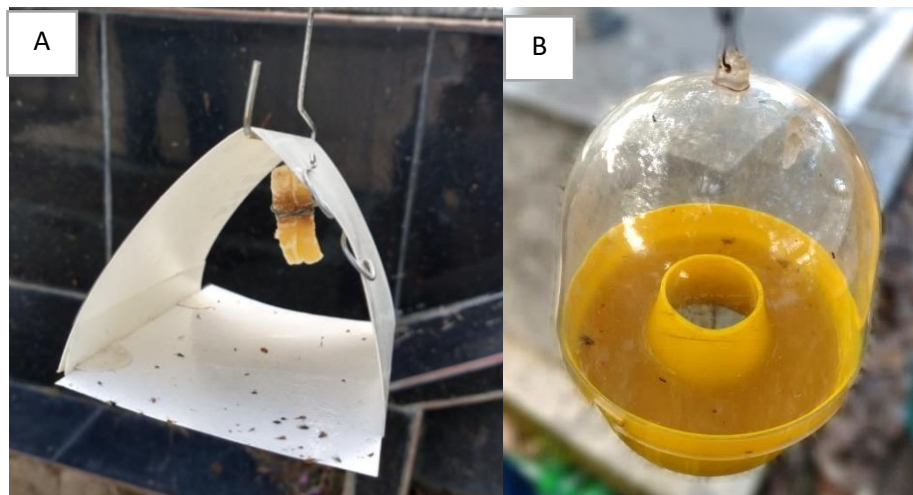
## 2.6 Monitoramento de *Bactrocera carambolae*

As densidades de *B. carambolae* foram avaliadas em monitoramentos realizados por meio do Subprograma Bactrocera, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em Roraima, de janeiro de 2013 a dezembro de 2020. Os monitoramentos foram realizados semanalmente, e as armadilhas instaladas em locais estratégicos, como estradas, fronteiras,

feiras, plantas hospedeiras, além de áreas onde já foram detectadas capturas da mosca da carambola, cobrindo assim boa parte da área dos municípios. Utiliza-se, onde houve detecção da mosca da carambola, a densidade mínima de 0,4 Jackson e 0,2 McPhail por hectare em área ampla.

Foram utilizados dois tipos de armadilhas, Jackson e McPhail. As do tipo Jackson consistem em armadilhas em forma de delta, um encarte retangular branco, feito de papel-cartão encerado ou de material plástico, coberto com uma fina camada de material adesivo usado para capturar as moscas. No topo da armadilha é colocado um plug polimérico ou pavio de algodão em uma cesta plástica ou armação de arame, que contém um atrativo à base de Metil-Eugenol, um paraferomônio para capturar machos de *B. carambolae*, misturado ao inseticida malation na proporção de 6:1 (6 partes de metil-eugenol para 1 parte de malation), ou seja, concentração de 143 ml L<sup>-1</sup> de malation (Figura 1A).

Figura 1 - Armadilhas tipo Jackson (A) e McPhail (B).



Fonte: Gil Soares

A armadilha do tipo McPhail é um recipiente de plástico, em forma de pera ou de cúpula, invaginado, onde a parte superior é transparente e a base é amarela, onde é colocado o atrativo alimentar à base de pastilhas de torula (Figura 1B). Para a contagem de capturas, o líquido contendo o atrativo alimentar é peneirado, ficando as moscas retidas na peneira. Estas moscas são despejadas em uma bandeja branca com água limpa, possibilitando a contagem de machos e fêmeas por armadilha.

Para a validação do modelo do CLIMEX, foram utilizados os dados de monitoramento de quatro municípios do estado: Bonfim, Normandia, Pacaraima e Uiramutã, nos anos de 2018 e 2019. O número de armadilhas (Jackson e McPhail) utilizadas no ano de 2018 nos municípios de Bonfim, Pacaraima, Normandia e Uiramutã foi, respectivamente, 115 (61 tipo Jackson e 54 tipo McPhail), 195 (98 tipos Jackson e 97 tipo McPhail), 205 (110 tipo Jackson e 95 tipo McPhail), 270 (136 tipo Jackson e 134 tipo McPhail). Em 2019, o número de armadilhas utilizadas no monitoramento dos municípios de Bonfim, Normandia, Pacaraima e Uiramutã, foram respectivamente, 110 (59 tipos Jackson e 51 tipo McPhail), 206 (103 tipo Jackson e 103 tipo McPhail), 209 (112 tipo Jackson e 97 tipo McPhail), 271 (137 tipo Jackson e 134 tipo McPhail).

Para a análise do efeito do clima sobre a dinâmica populacional, foram utilizados os dados de monitoramento na Comunidade do Mutum, Uiramutã, onde houve maior captura de adultos de *B. carambolae*. Nessa localidade, havia cerca de 30 armadilhas tipo Jackson e 30 McPhail.

## **2.7 Dados climáticos diários dos quatro municípios monitorados**

Os dados de precipitação e temperatura média diária dos quatro municípios monitorados (Bonfim, Pacaraima, Normandia e Uiramutã), foram obtidos através de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo, 2021).

## **2.8 Efeito do clima sobre a dinâmica populacional de *Bactrocera carambolae***

Todas as análises foram realizadas usando o software R versão 3.5.3 e RStudio versão 1.2.5001 (R CORE TEAM 2019). Foram utilizados os dados de adultos de *B. carambolae* nas armadilhas localizadas na Comunidade do Mutum, Uiramutã (4°27'07.4"N; 59°51'17.1"W), onde houve maior captura de moscas. Os dados foram analisados usando modelos lineares generalizados (GLMs) para determinação dos elementos climáticos que afetam a abundância dessa praga. Dados climáticos médios de 10, 20 e 30 dias foram usados nos modelos visando determinar o período provendo modelos com melhor ajuste com base no AIC (Akaike Information Criteria).

Primeiramente, o ajuste dos dados de captura às distribuições Poisson e binomial negativa (i.e., distribuições discretas para dados de contagem) foi verificado através da inspeção visual e teste de aderência (funções `fitdist` e `gofstat` do pacote `fitdistrplus`) das distribuições empíricas com as teóricas (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2015). Uma

vez que a distribuição binomial negativa foi a mais adequada, GLMs com distribuição binomial negativa e função de ligação log foram ajustados usando a função `glm.nb` do pacote MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002). Ao final, a homoscedasticidade e normalidade dos resíduos dos modelos foi verificada através de representações gráficas dos resíduos.

Médias marginais dos valores preditos de capturas de *B. carambolae* foram estimadas usando a funções do pacote `ggeffects` (LÜDECKE, 2018). As figuras foram elaboradas usando funções do pacote `ggplot2` (WICKHAM, 2016).

## **2.9 Distribuição espaço-temporal de *Bactrocera carambolae* em Roraima**

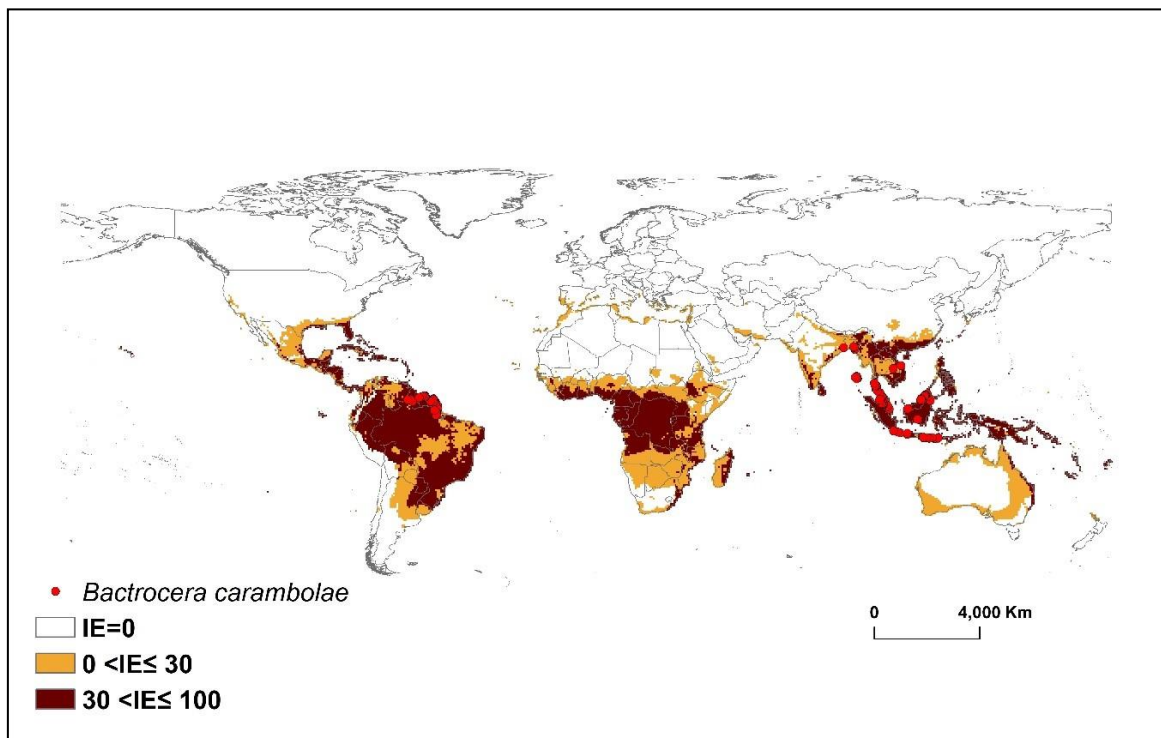
Para avaliação da evolução das capturas ao longo dos anos nos municípios de Roraima, mapas foram confeccionados por meio do uso de funções (`read_state` e `read_municipality`) do pacote `geobr` (KASSAMBARA, 2020). Nos mapas foram representadas as médias anuais do número de capturas em cada localidade.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Potencial distribuição de *Bactrocera carambolae*

Os locais de ocorrências *B. carambolae* ficaram dentro da categoria climática altamente adequada para a espécie (Figura 2), demonstrando boa correspondência entre sua distribuição atual e o índice ecoclimático do CLIMEX. Com isso, podemos certificar a confiabilidade dos valores dos parâmetros utilizados no modelo.

Figura 2 - Modelo usando CLIMEX para o clima atual: Inadequado (IE=0), adequado ( $0 < EI \leq 30$ ), alta adequabilidade ( $30 < EI \leq 100$ ).

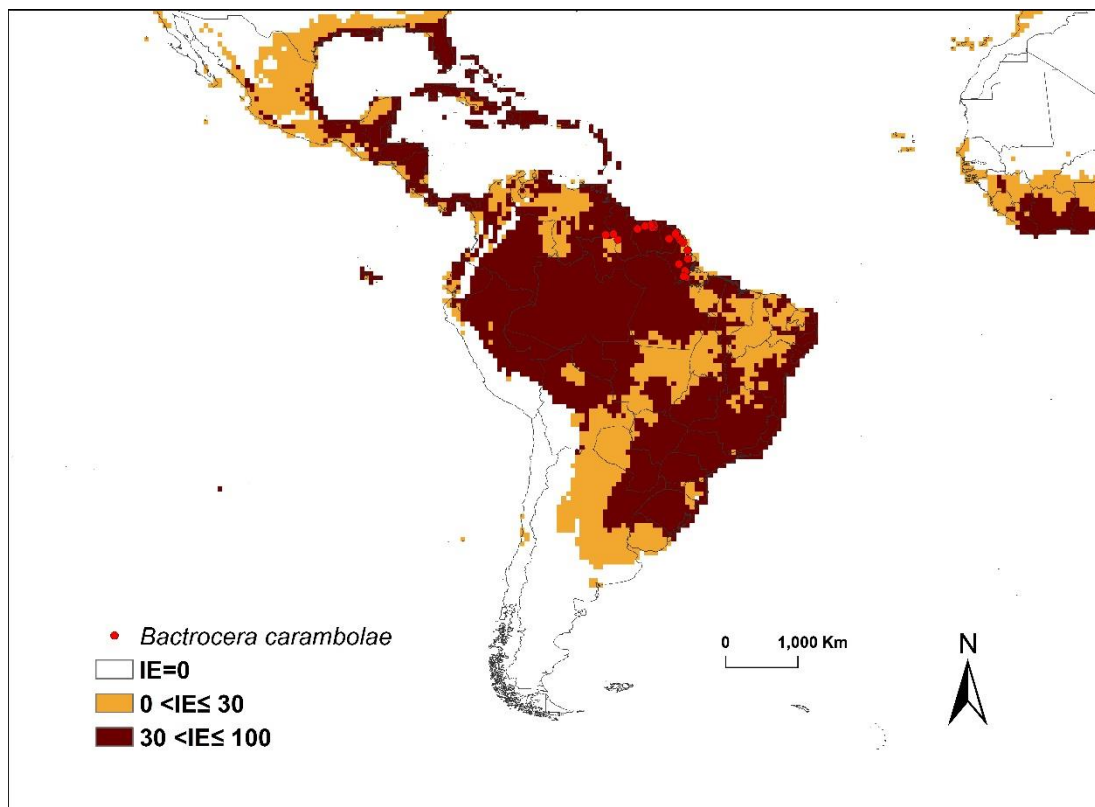


As maiores adequabilidades para *B. carambolae* são as mais próximas à linha do equador. O continente africano possui uma grande área com alta adequação climática para *B. carambolae*, que vai da Namíbia até Guiné-Bissau, passando pela Nigéria, República Centro-Africana, Sudão do Sul e Etiópia, além de Madagascar e região litorânea da África do Sul. No continente asiático, as áreas de alta adequação climática vão do litoral sul do Irã, passando pelo litoral da Índia, região sul do Nepal, sul de Butão e região sul da China, além de todo o sudeste asiático. No continente europeu, foi encontrado poucas áreas com adequabilidade média, destacando-se o sul de Portugal, o litoral sul da Espanha e pequenas faixas litorâneas

do sul da Itália e Grécia. Na região da Oceania, exceto nova Zelândia e região desértica da Austrália, todos as áreas possuem adequabilidade para *B. carambolae*. Na América do Norte, alta adequabilidade foi encontrada em pequenas áreas dos Estados Unidos, apenas na faixa no sul do país, partindo das áreas do sul do estado de Texas até o estado da Carolina do Sul, além de todo o estado da Flórida, e no México, uma grande área abrangendo a parte oriental e sul do país. Na América Central, todos os países apresentam alta adequabilidade para *B. carambolae* (Figura 2).

Na América do Sul, exceto a região das Cordilheira dos Andes, do deserto costeiro do Peru, Patagônia Argentina e território do Chile, todas as áreas entre o nordeste da Argentina e o litoral da Venezuela, apresentam alta adequabilidade para *B. carambolae* (Figura 3).

Figura 3 - Pontos de ocorrência de *Bactrocera carambolae*, com a distribuição atual de *B. carambolae* e a região de validação do modelo baseado no índice ecológico IE. As áreas em branco (IE = 0), laranja ( $0 < IE \leq 30$ ), marrom ( $30 < IE \leq 100$ ).



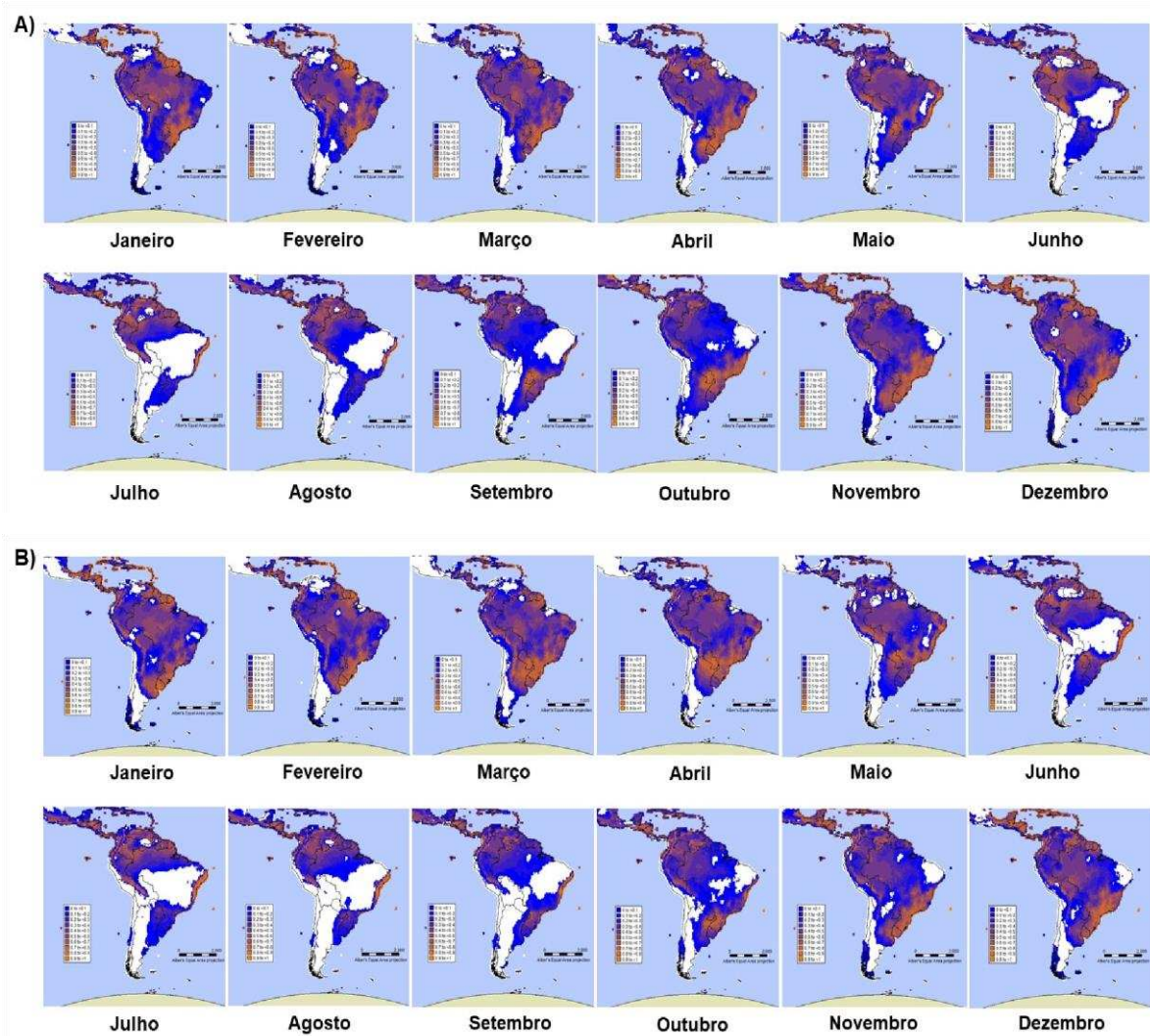
O Brasil apresenta grande parte de seu território com alta adequabilidade para *B. carambolae*, que inclui praticamente toda a região norte, sul e sudeste, todo o Bioma de Mata Atlântica, do Rio Grande do Sul o Estado do Rio grande do Norte, e a região leste do Estado

de Mato Grosso. Regiões mais centrais do país, que incluem o Pantanal e a Caatinga aparecem com média adequabilidades para *B. carambolae* (Figura 3).

### 3.2 Variabilidade climática mensal

Analisando a variabilidade climática mensal em 2018 e 2019 para a América do Sul e Central, identificamos que na maior parte do ano existe alta adequabilidade para *B. carambolae*. Apenas nos meses de junho, julho, agosto e setembro, a parte oeste da América do Sul e central do Brasil apresentam uma diminuição da aptidão climática (Figura 4).

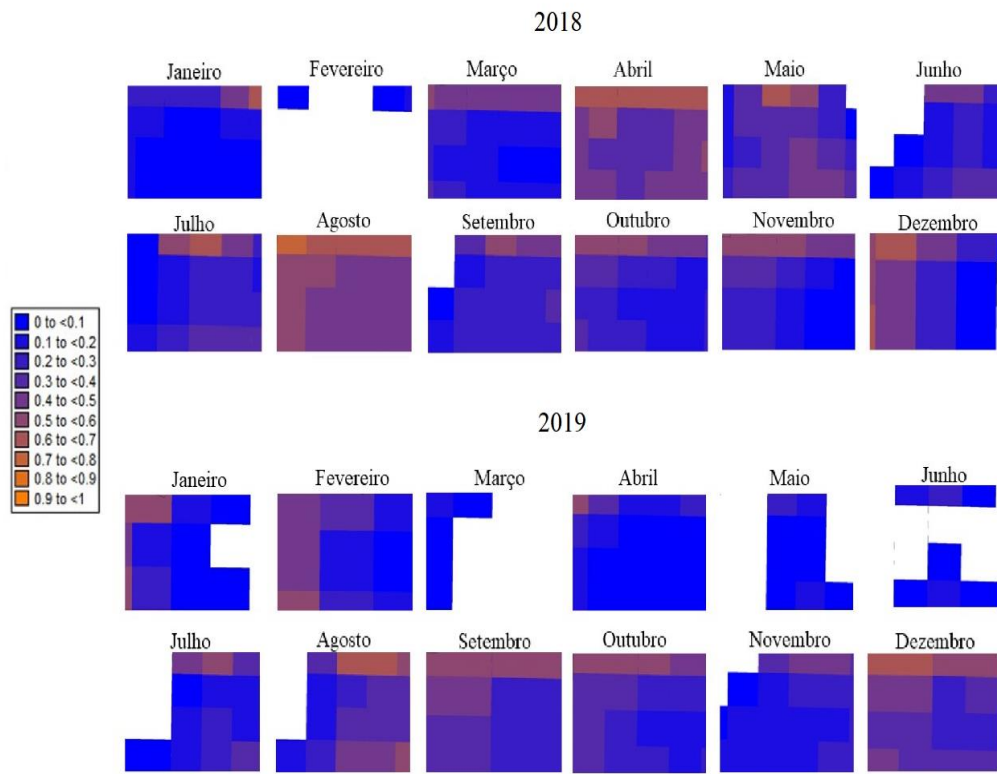
Figura 4 - Variabilidade climática por mês, com base no índice de crescimento (0 a 1) para *Bactrocera carambolae* na América do Sul em A) 2018 e B) 2019.



Para o Brasil, a análise da variabilidade climática mensal demonstra que, apesar dos maiores índices de adequabilidade climática terem sido observados nas regiões norte, sul, e áreas ao longo da costa litorânea, todas as regiões, em algum período, apresentam condições favoráveis para *B. carambolae*. De janeiro a maio e outubro a dezembro, nas cinco regiões brasileiras, observa-se um aumento na adequação climática. Nos meses de junho, julho e agosto a adequação climática é encontrada apenas na região norte, na região sul, e na faixa litorânea sudeste e nordeste. A partir do mês de setembro, percebe-se uma melhora na adaptabilidade climática, com um aumento gradativo da aptidão climática nas regiões sudeste e centro-oeste e nordeste ao longo dos meses de outubro e novembro. Em dezembro, apenas pequenas áreas do nordeste, e pequenas áreas na fronteira com a Guiana e Colômbia não apresentam aptidão climática para *B. carambolae*, e essa adequação climática tende a perdurar nos meses de janeiro a maio (Figura 4).

A variabilidade climática mensal para a área dos quatro municípios de Roraima monitorados (Bonfim, Normandia, Pacaraima e Uiramutã) nos anos de 2018 e 2019, indica que, ao longo de todo o ano, *B. carambolae* mosca-da-carambola encontra condições favoráveis para desenvolvimento, principalmente nos meses de março de 2018 a fevereiro de 2019 e julho de 2019 a dezembro de 2019 (Figura 5).

Figura 5 - Variabilidade climática por mês com base no índice de crescimento (0 a 1) - GIw para *Bactrocera carambolae* nos municípios de Bonfim, Normandia, Pacaraima e Uiramutã de 2018 e 2019.

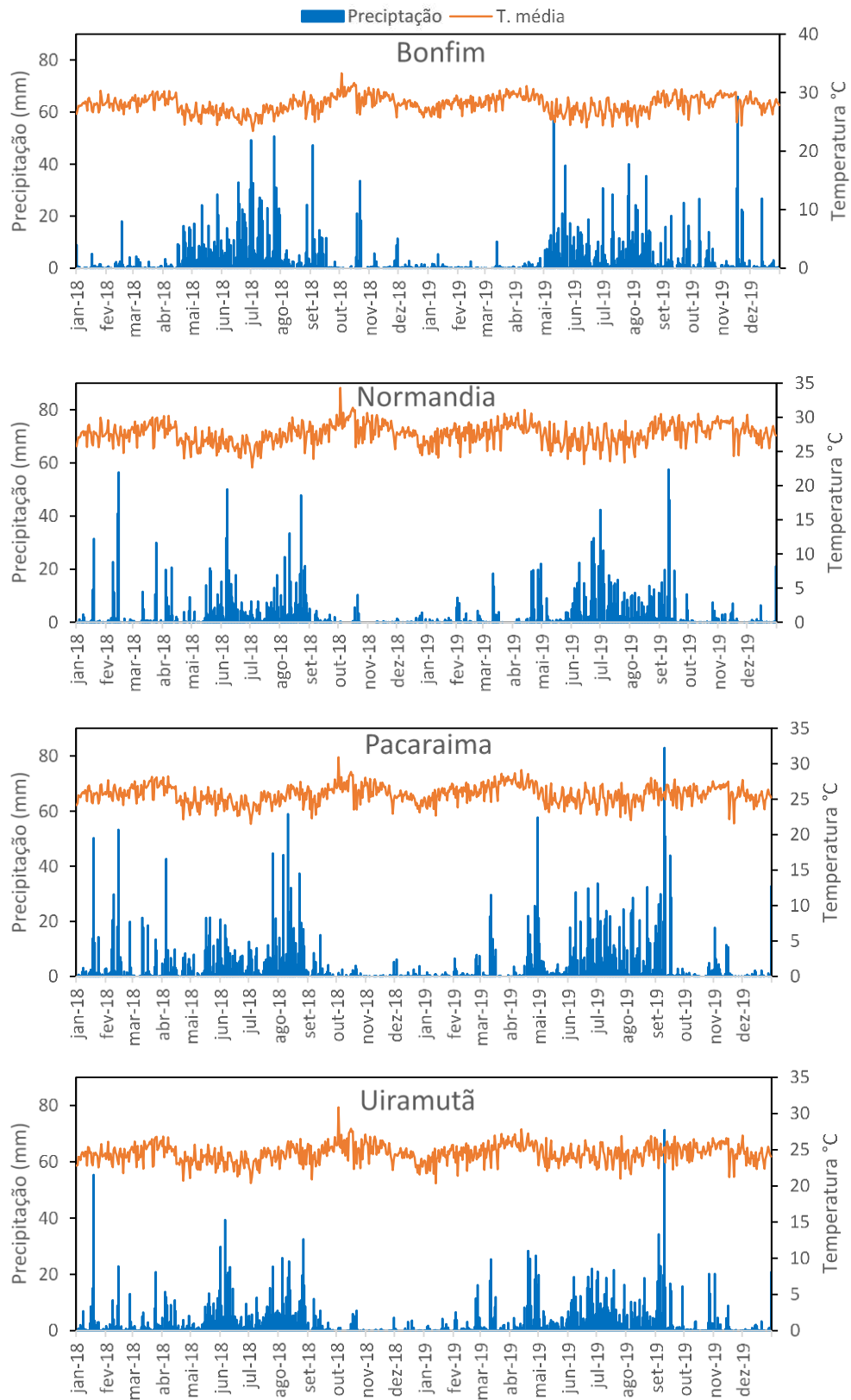


### 3.3 Dinâmica populacional e validação do modelo

As maiores densidades de *B. carambolae* no município de Bonfim foi em janeiro de 2018 e de setembro a dezembro de 2019. Em Normandia, os maiores picos populacionais foram de agosto a dezembro de 2019. Em Pacaraima, os maiores picos foram em janeiro de 2019 e de julho a dezembro de 2019. Já em Uiramutã, houve vários picos populacionais de agosto de 2018 a dezembro 2019, com exceção de abril a junho de 2019 (Figura 6). Essa dinâmica populacional demonstra que os índices de crescimento do modelo do CLIMEX (Figura 5) estão adequados. As maiores densidades de *B. carambolae* coincidem com períodos chuvosos e mais quentes do ano (Figura 7).



Figura 7 - Precipitação (mm) e temperatura média diária (°C) nos quatro municípios de Roraima: A) Bonfim, B) Normandia, C) Pacaraima e D) Uiramutã, em 2018 e 2019.



### 3.4 Efeito do clima sobre a dinâmica populacional de *Bactrocera carambolae*

Os dados climáticos médios de 20 dias anteriores proveram os melhores ajustes dos modelos pelo AIC e foram adotados nos modelos finais (Tabela 2). Os elementos climáticos afetaram significativamente as capturas de *B. carambolae* (Tabela 3). A temperatura do ar e precipitação pluviométrica foram positivamente relacionadas com o número de capturas e o inverso ocorreu para a velocidade dos ventos (Tabela 3 e Figura 8). As capturas de *B. carambolae* foram previstas para aumentar em 10 e 18 vezes, respectivamente, quando há incrementos na temperatura do ar (de 24 a 31 °C) e na precipitação pluviométrica (de 5 a 20 mm/dia). Contrariamente, há uma redução de 2,2 vezes no número de capturas quando a velocidade do vento aumenta de 1 a 4,5 km/h.

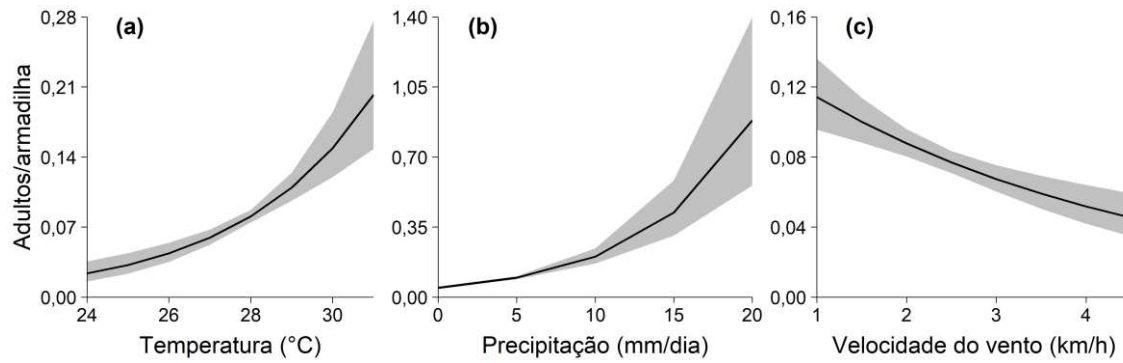
Tabela 2 - Resultados dos modelos lineares generalizados (GLM com distribuição binomial negativa e função de ligação log) verificando o efeito de variáveis climáticas (temperatura, precipitação e velocidade do vento) no número de capturas de adultos de *B. carambolae*, de 2013 a 2020 (n = 299). Os modelos foram elaborados usando médias de diferentes intervalos (10, 20 e 30 dias anteriores às amostragens) das variáveis climáticas, sendo selecionado aquele apresentando o menor AIC (Akaike Information Criteria).

Termo	10 dias		20 dias		30 dias	
	Coefficiente	P	Coefficiente	P	Coefficiente	P
Intercepto	-3,54	<0,001	-10,92	<0,001	-16,33	<0,001
Temperatura	0,08	0,040	0,31	<0,001	0,48	<0,001
Precipitação	0,05	<0,001	0,15	<0,001	0,2	<0,001
Velocidade d vento	-0,57	<0,001	-0,26	<0,001	-0,1	0,130
AIC	5727,2		5690,0		5728,6	

Tabela 3 - Resultado do modelo linear generalizado (GLM com distribuição binomial negativa e função de ligação log) verificando o efeito de variáveis climáticas (médias de temperatura, precipitação e velocidade do vento, 20 dias anteriores às avaliações) no número de capturas de adultos de *Bactrocera carambolae* no estado de Roraima, de 2013 a 2020 (n = 299).

Termo	Coefficiente ± EP	z	P
Intercepto	-10,92±1,53	-7,14	<0,001
Temperatura	0,31±0,05	5,97	<0,001
Precipitação	0,15±0,01	10,15	<0,001
Velocidade do vento	-0,26±0,06	-4,37	<0,001

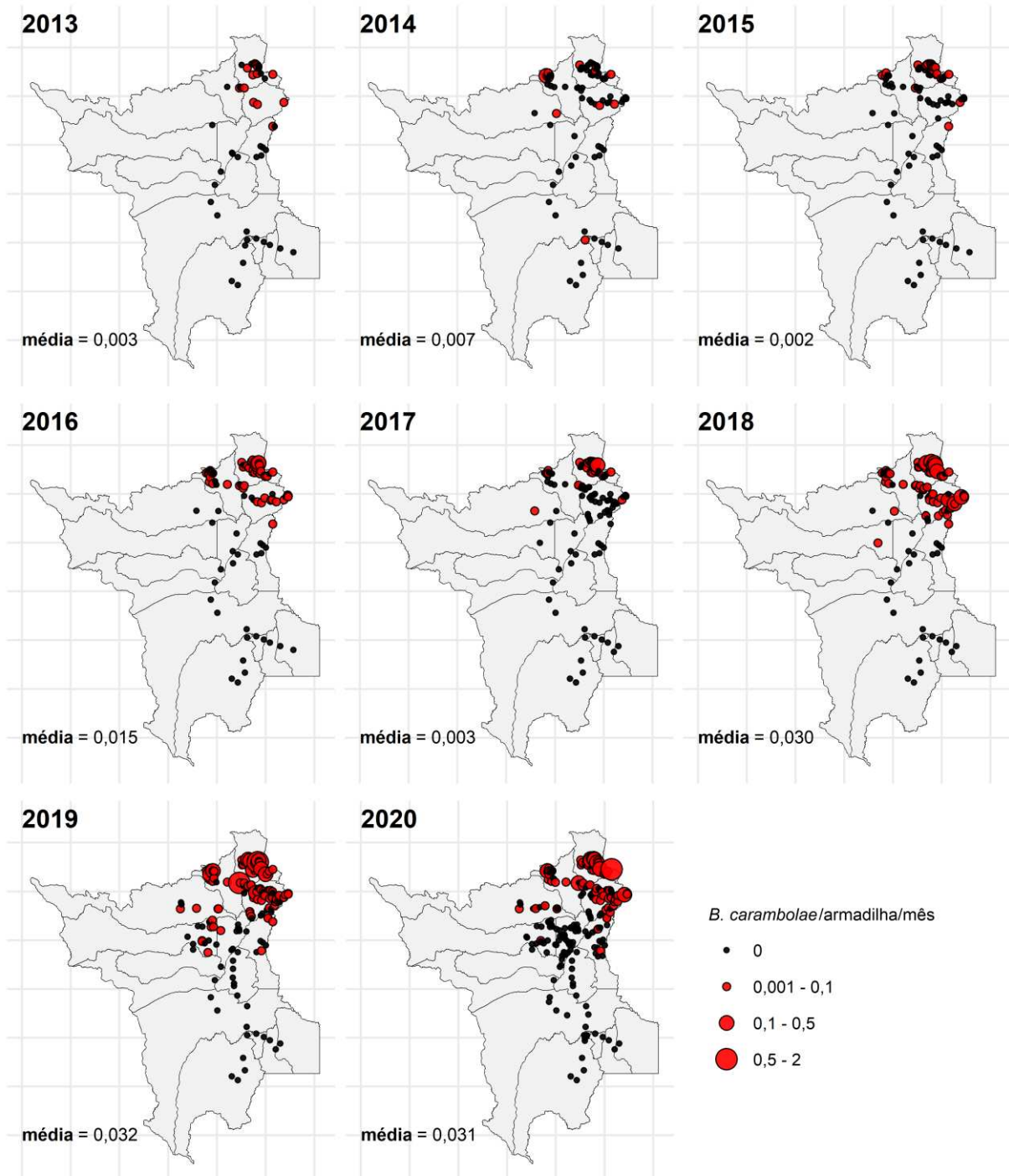
Figura 8 - Valores estimados de adultos de *Bactrocera carambolae* capturados em armadilhas no estado de Roraima em função (a) da temperatura, (b) precipitação pluviométrica e (c) velocidade do vento. Na figura são exibidos os valores preditos (linha sólida) e seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade (sombreamento cinza).



### 3.5 Distribuição espaço-temporal de *Bactrocera carambolae* em Roraima

O número de adultos capturados aumentou de 2013 a 2016, com queda em 2017 (0,002 adultos/armadilha/mês) e aumento acentuado de 2018 a 2020 ( $\geq 0,03$  adultos/armadilha/mês) (Figura 9). Independente do ano, as maiores densidades de adultos capturados ocorreram na região nordeste do estado, nos municípios de Uiramutã, Pacaraima e Normandia.

Figura 9 - Média de adultos de *Bactrocera carambolae* capturados de 2013 a 2020 em municípios do estado de Roraima. O diâmetro dos círculos é proporcional à densidade de *B. carambolae*.



#### 4 DISCUSSÃO

O presente estudo utilizou o modelo CLIMEX para mapear o potencial de distribuição de *B. carambolae* em relação ao clima. Parâmetros da biologia da espécie permitiram identificar áreas climaticamente favoráveis, tendo como base as ocorrências de *B. carambolae* em áreas nativas, e áreas invadidas da América do Sul em que a espécie se estabeleceu (Figura 2). Os resultados indicam boa correspondência entre a atual distribuição de *B. carambolae* e o índice ecoclimático do CLIMEX (Figura 2).

Regiões da Indonésia, Malásia e Tailândia, nativas da mosca-da-carambola, apresentam clima tropical e equatorial, sendo tipicamente quente e úmido, muito semelhante ao clima encontrado em regiões da América do Sul e Central, em grandes regiões de floresta tropical e clima equatorial do continente africano, onde a mosca encontra alta adequabilidade climática. Os resultados encontrados por este modelo enquadram-se nas categorias de clima equatorial, que apresentam temperaturas mínimas em torno de 18 °C, especialmente floresta equatorial, totalmente úmido e monção equatorial (KOTTEK et al., 2006). Meyer et al. (2010), em duas abordagens de modelagem de nicho ecológico (MaxEnt e GARP), para estimar a distribuição global potencial de *B. invadens*, encontraram valores semelhantes de adequação climática, onde as áreas mais adequadas se enquadraram nas categorias de clima equatorial. No mesmo sentido, Stephens et al. (2007), em estudo sobre a distribuição geográfica potencial de *B. dorsalis*, identificou que as condições de adequabilidade para essa espécie são favoráveis em grande parte dos trópicos e subtropicais.

Na América, além das regiões infestadas do Suriname, Guiana Francesa e norte do Brasil, que apresentam temperaturas médias anuais de 25, 27 e 26°C, respectivamente, várias outras áreas do continente americano também foram observadas adequabilidade para *B. carambolae*, principalmente na América do Sul e na América Central. Isso indica que esta praga pode expandir bastante sua distribuição nessas regiões caso ações de controle preventivas não sejam adotadas de forma permanente e constante, como criação e manutenção de barreiras fitossanitárias, de normas de certificação fitossanitária e realização de testes e estudos para estabelecer tratamentos quarentenários específicos para *B. carambolae* (LEMOS, 2006). Países da América do Sul, como Argentina, Paraguai, Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa, todos os países da América Central, além de México e região sul dos Estados Unidos na América do Norte, possuem áreas de alta adequabilidade para *B. carambolae*, indicando áreas de risco para o avanço da espécie (Figura 3).

Além da ação antrópica, onde frutos infestados com ovos e larvas podem ser transportados em viagens para outras localidades (MALAVASI et al., 2013), fatores como temperatura, umidade, odores, presença de predadores, disponibilidade de alimentos e disponibilidade de hospedeiros para ovoposição, podem influenciar na dispersão e abundância de espécies de mosca-das-frutas (DOMINIAK, 2012; VAYSSIÈRES et al., 2008). A mosca-da-carambola possui grande capacidade de dispersão, podendo voar longas distâncias a procura de hospedeiros (SILVA, 2010), sendo que a distância potencial de voo para as espécies de *Bactrocera* está estimada entre 50 a 100 km (DA SILVA et al., 2018). Froerer et al. (2010) em estudos sobre a capacidade de dispersão de *Bactrocera dorsalis*, constatou que em alguns casos, as moscas conseguiram alcançar longas distâncias, atingindo cerca de 11 km de distância de dispersão em apenas quatro dias. Acompanhando o avanço de *B. carambolae* ao longo dos anos de 2013 a 2020 no estado de Roraima, percebe-se que a espécie tem aumentado sua população na região, se movimentando para localidades vizinhas, principalmente na região nordeste do Estado, nas áreas dos municípios de Uiramutã, Pacaraima e Normandia (Figura 9).

No presente estudo, constatou-se correlação negativa entre a velocidade dos ventos e a quantidade de capturas de *B. carambolae* (Figura 8), concordando com outros estudos sobre efeitos da velocidade dos ventos na variação populacional de moscas das frutas. Shukla e Prasad (1985), avaliando a flutuação populacional da mosca-das-frutas oriental, *Bactrocera dorsalis*, em relação fatores abióticos, observou que o maior número de capturas ocorreu principalmente durante as semanas em que velocidade do vento era menor. No mesmo sentido, Draz et al. (2016), avaliando a atividade populacional da mosca da fruta do pêssego, *Bactrocera zonata*, observou que a velocidade do vento teve efeito significativo negativo na captura de machos. Análises realizadas acerca da velocidade dos ventos e estímulos de odor para a mosca da larva da maçã, *Rhagoletis pomonella*, identificaram que, embora o odor fizesse com que as moscas mantivessem um maior grau de atividade, no geral, a frequência de voo da mosca era substancialmente reduzida conforme a velocidade dos ventos aumentava (ALUJA e PROKOPY; 1992; ALUJA et al., 1993). Bortoli (2015), analisando interações tritróficas entre moscas-das-frutas, identificou que a dinâmica populacional de *Anastrepha* spp. foi negativamente afetada pelo aumento da velocidade dos ventos. Porém, apesar do resultado encontrado, é importante considerar outros fatores que podem ter influenciado na diminuição de capturas em períodos de maiores velocidades dos ventos. Um exemplo seria o fato de a avaliação ter sido realizada com dados de monitoramento de uma única localidade,

onde a maior velocidade dos ventos pode ter contribuído para a dispersão das moscas para outros locais, não avaliados ou sem armadilhas.

As variações populacionais e os modelos lineares generalizados demonstram uma relação positiva com a temperatura (Figura 8). Em espécies do mesmo gênero, *B. zonata*, *B. diversa* e *B. dorsalis*, também se verificou que suas populações se correlacionaram positivamente com temperaturas máximas e mínimas (STANLEY et al., 2015; KHAN et al., 2017). Ye e Liu (2005), analisando a dinâmica populacional de *B. dorsalis*, identificaram uma correlação positiva entre o número de moscas capturadas e as temperaturas mínimas e médias mensais. Vayssières et al. (2009), avaliando a correlação entre as flutuações populacionais de *B. invadens* com parâmetros abióticos e bióticos, identificou que as maiores densidades de ocorreram a partir do início dos períodos de maiores precipitações e temperaturas.

Relação positiva também foi observada na avaliação com a precipitação pluviométrica, onde os resultados indicaram que as maiores densidades de capturas de *B. carambolae* ocorreram a partir do aumento das chuvas (Figura 7 e 8). A chuva pode melhorar a umidade do ambiente, favorecendo cópulas, oviposições e emergência de adultos e também do solo, aumentando a viabilidade de pupas (VAYSSIÈRES et al., 2009). O desenvolvimento de pupas e a emergência de adultos de *B. carambolae* são afetados pela umidade, especialmente em solos argilosos (AMARAL et al., 2021).

Importante também ressaltar que nesse estudo não foi avaliado o efeito da irrigação, sem a qual muitas culturas não seriam possíveis em algumas regiões. Seja ela em grande ou pequena escala, a irrigação exclui as limitações de umidade, criando habitats climaticamente adequados e possibilitando o cultivo de plantas hospedeiras, o que permite a persistência das moscas das frutas na área (SUTHERST e YONOW, 1998). A irrigação proporciona uma modificação do microclima, gerando ambientes adequados para as moscas das frutas, ou propiciando um aumento dos períodos favoráveis para o seu desenvolvimento (DOMINIAK et al., 2006). Normalmente as moscas das frutas utilizam habitats na escala de pomares, onde os regimes de irrigação aumentam a umidade disponível, fornecendo microclimas que servem de refúgio contra as condições climáticas de maior escala (BARTON e TERBLANCHE, 2014; STEPHENS et al., 2007; HILL et al., 2016). *B. carambolae* apresentou uma considerável distribuição geográfica potencial, abrangendo regiões de clima tropical e subtropical de todos os continentes, sendo que a irrigação poderia estender essa distribuição para zonas de climas secos. Nesse caso, é possível que as projeções de adequação aqui apresentadas, possam ser modificadas caso a irrigação seja considerada.

Além do clima, a sazonalidade de frutos hospedeiros de *B. carambolae*, também pode influenciar a ocorrência da espécie. Nesse estudo, as maiores densidades de *B. carambolae* nos períodos chuvosos podem estar relacionadas a maior frutificação de plantas hospedeiras na região, tais como carambola, manga, caju e cajá. A disponibilidade de frutos hospedeiros é um dos fatores determinantes para as moscas-das-frutas (KHALID e MISHKATULLAH, 2007). Estudos realizados na Amazônia brasileira demonstram que a disponibilidade de hospedeiros foi determinante na ocorrência e flutuação populacional de moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha* (RONCHI TELES e SILVA, 2005).

Outros fatores também podem estar relacionados, como inimigos naturais, utilização de agrotóxicos nos trabalhos de erradicação, ou mesmo interferência de pessoas nas armadilhas, pois muitas são instaladas em meio urbano e comunidades indígenas.

Em todo o caso, o modelo de dinâmica espaço-temporal, baseado no clima, traz contribuição para o entendimento da dinâmica sazonal de *B. carambolae* no Brasil, fornecendo informações importantes para o Programa Nacional de Erradicação. Essas informações podem auxiliar na adoção de estratégias de controle do avanço da espécie para outras regiões, contribuindo na orientação para a tomada de decisão e controle da espécie em diferentes épocas e culturas no campo, pois permite compreender as épocas de maior atenção para gerir os esforços na amostragem e seguir com o processo de interceptação e controle. Também pode servir como base para adoção ou exclusão de barreiras quarentenárias. Ademais, o estudo abre possibilidades para novas pesquisas, a fim de determinar outros fatores que podem influenciar na variação sazonal de *B. carambolae* e suas interações com a dinâmica espaço-temporal do clima em termos de estudos ecológicos.

## 5 CONCLUSÕES

*Bactrocera carambolae* tem maior adequabilidade climática nas regiões tropicais e subtropicais do globo, que abrange grande parte da América do Sul e Central, Caribe, centro e Sul da África e Ásia.

As Américas do Sul e Central apresentam adequabilidade favorável a *B. carambolae* na maior parte do ano.

O Brasil apresenta alta adequabilidades para *B. carambolae* em boa parte de seu território, sobretudo as regiões norte, sul e sudeste, área litorânea e região leste do Estado de Mato Grosso, sendo que os períodos de maior adequabilidade são de janeiro a maio e de outubro a dezembro.

Os índices de crescimento do modelo CLIMEX dos municípios monitorados de Roraima (Bonfim, Normandia, Pacaraima e Uiramutã) coincidem com a variação populacional da praga no campo, sendo os períodos de maior infestação de março de 2018 a fevereiro de 2019 e julho de 2019 a dezembro de 2019, as épocas com condições mais adequadas.

As densidades de *B. carambolae* em Roraima são relacionadas positivamente com a precipitação e a temperatura média, e negativamente com a velocidade dos ventos.

## REFERÊNCIAS

- ADAIME, R. A. et al. Novos registros de hospedeiros da mosca-da-carambola (*Bactrocera carambolae*) no Estado do Amapá, Brasil. Embrapa Amapá-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2016.
- AGRITEMPO. Pesquisa de dados meteorológicos para o estado de RR, (2021). Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=RR>. Acesso em: 23/03/2021.
- ALUJA, M. et al. Wind tunnel assays of olfactory responses of female *Rhagoletis pomonella* flies to apple volatiles: effect of wind speed and odour release rate. *Entomologia experimentalis et applicata*, v. 68, n. 2, p. 99-108, 1993.
- ALUJA, MARTIN; PROKOPY, RONALD J. Host Search behaviour by *Rhagoletis pomonella* flies: inter-tree movement patterns in response to wind-borne fruit volatiles under field conditions. *Physiological Entomology*, v. 17, n. 1, p. 1-8, 1992.
- AMARAL, Eric Joel Ferreira do et al. Effect of soil class and moisture on the depth of pupation and pupal viability of *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (1994). *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 65, n. 1, 2021.
- BARRETO, Milza Costa et al. Impactos socioeconômicos da dispersão da mosca-da-carambola (*Bactrocera carambolae*) à fruticultura nacional. In: DA SILVA, Ricardo Adaime; LEMOS, W. de P.; ZUCCHI, Roberto Antônio. Moscas-das-frutas na Amazônia brasileira: diversidade, hospedeiros e inimigos naturais. Macapá: Embrapa Amapá, p. 185-195, 2011.
- BORTOLI, Lígia Caroline. Interações tritróficas entre moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), seus hospedeiros e parasitoides (Hymenoptera) e avaliação de atrativos para o monitoramento na Região da Serra Gaúcha, RS. Embrapa Uva e Vinho-Tese/dissertação (ALICE), 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 1º de outubro de 2018. Estabelece a lista de pragas quarentenárias presentes (PQP) para o Brasil e aprova os procedimentos para as suas atualizações. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de outubro de 2018. Seção 1, p. 14.
- DA SILVA, M. L. et al. *Bactrocera dorsalis* (Handel 1912) (Diptera: Tephritidae) In: FIDELIS, E. G. et al. Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil. Embrapa Roraima-Livro científico (ALICE), 2018, cap. 10, p. 135-154.
- DA SILVA, R. A. et al. Ocorrência da mosca-da-carambola no estado do Amapá. In: Embrapa Amapá-Artigo em anais de congresso (ALICE). Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v. 4, n. 7, jun. 2005., 2005.
- DANJUMA, Solomon et al. Effect of temperature on the development and survival of immature stages of the carambola fruit fly, *Bactrocera carambolae*, and the Asian papaya fruit fly, *Bactrocera papayae*, reared on guava diet. *Journal of Insect Science*, v. 14, n. 1, p. 126, 2014.

DE MEYER, Marc et al. Ecological niche and potential geographic distribution of the invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera, Tephritidae). Bulletin of entomological research, v. 100, n. 1, p. 35-48, 2010.

DE MEYER, Marc et al. Ecological niche and potential geographic distribution of the invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera, Tephritidae). Bulletin of entomological research, v. 100, n. 1, p. 35-48, 2010.

DE VILLIERS, Marelize et al. The potential distribution of *Bactrocera dorsalis*: considering phenology and irrigation patterns. Bulletin of entomological research, v. 106, n. 1, p. 19-33, 2016.

DELIGNETTE-MULLER, Marie Laure; DUTANG, Christophe. fitdistrplus: An R package for fitting distributions. Journal of Statistical Software, v. 64, n. 4, p. 1–34, 2015.

DEUS, E. G. et al. Co-infestation and spatial distribution of *Bactrocera carambolae* and *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) in common guava in the eastern amazon. Journal of Insect Science, v. 16, n. 1, 2016.

DOMINIAK, Bernard C. Review of dispersal, survival, and establishment of *Bactrocera tryoni* (Diptera: Tephritidae) for quarantine purposes. Annals of the Entomological Society of America, v. 105, n. 3, p. 434-446, 2012.

DRAZ, Khalil A. Population activity of peach fruit fly *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera: Tephritidae) at fruits orchards in Kafer El-Shikh Governorate, Egypt. Arthropods, v. 5, n. 1, p. 28, 2016.

FREIDBERG, Amnon. Preface-biotaxonomy and Tephritoidea. Israel Journal of Entomology, p. 35-36, 2006.

FROERER, K. M. et al. Long-distance movement of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Puna, Hawaii: how far can they go?. American Entomologist, v. 56, n. 2, p. 88-95, 2010.

GODOY, Maria Julia Signoretti et al. Programa Nacional de Erradicação da Mosca-da-carambola. Moscas-das-frutas na Amazônia brasileira: diversidade, hospedeiros e inimigos naturais. Embrapa Amapá. Macapá, p. 133-158, 2011.

IWAHASHI, Osamu; SYAMUSDIN-SUBAHAR, Tati Suryati; SASTRODIHARDJO, Soelaksono. Atratividade do metil eugenol para a mosca da fruta *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae) na Indonésia. Anais da Sociedade Entomológica da América, v. 89, n. 5, pág. 653-660, 1996.

KASSAMBARA, Alboukadel. ggpubr: “ggplot2” based publication ready plots. 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=ggpubr>.

KHALID, M.; MISHKATULLAH, S. Population dynamics of three species of genus *Bactrocera* (Diptera: Tephritidae: Dacinae) in BARI, Chakwal. Punjab Pakistan Journal of Zoology, v. 39, n. 2, p. 123-126, 2007.

KHAN, Rashid Ahmed; NAVEED, Muhammed. Occurrence and seasonal abundance of fruit fly, *Bactrocera zonata* Saunders (Diptera: Tephritidae) in relation to meteorological factors. *Pakistan Journal of Zoology*, v. 49, n. 3, p. 999-1003, 2017.

KOTTEK, Markus et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

KRITICOS, D. J. et al. CLIMEX Version 4: Exploring the effects of climate on plants, animals and diseases. Canberra: CSIRO, p. 184, 2015.

LEMOS, L. D. N., Lima, C. R., DEUS, E. D. G., da SILVA, R. A., & Godoy, M. J. S. (2010). Novos registros de hospedeiros para *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae) no Estado do Amapá, Brasil. In Embrapa Amapá-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23., 2010, Natal. Anais... Natal: Sociedade Brasileira de Entomologia, 2010.

LEMOS, Walkymário P. et al. Estratégias de controle da mosca-da-carambola *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (Diptera: Tephritidae) visando impedir sua disseminação para áreas livres de ocorrência no Brasil. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2006.

LI, ZhiHong et al. Review on prevention and control techniques of Tephritidae invasion. *Plant Quarantine (Shanghai)*, v. 27, n. 2, p. 1-10, 2013.

LÜDECKE, Daniel. ggeffects: Tidy data frames of marginal effects from regression models. *Journal of Open Source Software*, v. 3, n. 26, p. 772, 2018.

MALAVASI, A. Mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock. In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros. Piracicaba: Fealq, 2015. cap. 1, p. 173-184.

MALAVASI, Aldo; MIDGARDEN, David; DE MEYER, Marc. 12 *Bactrocera* Species that Pose a Threat to Florida: *B. carambolae* and *B. invadens*. *Potential Invasive Pests of Agricultural Crops*, v. 3, p. 214, 2013.

MARCHIORO, Cesar A. Global potential distribution of *Bactrocera carambolae* and the risks for fruit production in Brazil. *PloS one*, v. 11, n. 11, p. e0166142, 2016.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <https://www.r-project.org/>&gt;.

RONCHI-TELES, Beatriz; SILVA, Neliton M. da. Flutuação populacional de espécies de *Anastrepha schiner* (Diptera: Tephritidae) na região de Manaus, AM. *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 5, p. 733-741, 2005.

SAUERS-MULLER, A. V. Host plants of the carambola fruit fly, *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (Diptera: Tephritidae), in Suriname, South America. *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 2, p. 203-214, 2005.

SHUKLA, R. P.; PRASAD, V. G. Population fluctuations of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* Hendel in relation to hosts and abiotic factors. *International Journal of Pest Management*, v. 31, n. 4, p. 273-275, 1985.

SILVA, O. L. R.; SUMAN, R.; SILVA, J. R. Mosca da carambola (*Bactrocera carambolae* Drew & Hancock). Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

SILVA, Shirley Franx. Abordagem biogeográfica: potencial de distribuição e extensão geográfica da mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* (Drew & Hancock, 1994), no Brasil. 2010.

SOUSA, Maria do Socorro Miranda de. Moscas-das-frutas associadas a fruteiras de importância socioeconômica no estado do Amapá. 2015.

STANLEY, J.; GUPTA, J. P.; RAI, D. Population dynamics of fruit flies, *Bactrocera* spp. North Western Himalaya. *Indian Journal of Entomology*, v. 77, n. 3, p. 21-220, 2015.

STEPHENS, A. E. A.; KRITICOS, Darren J.; LERICHE, Agathe. The current and future potential geographical distribution of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, v. 97, n. 4, p. 369-378, 2007.

SUTHERST, Robert W. Guest Editorial: Prediction of Species Geographical Ranges. *Journal of Biogeography*, v. 30, n. 6, p. 805-816, 2003.

VAYSSIÈRES, Jean-François et al. Development of immature stages and comparative demography of two cucurbit-attacking fruit flies in Reunion Island: *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus ciliatus* (Diptera Tephritidae). *Environmental Entomology*, v. 37, n. 2, p. 307-314, 2008.

VAYSSIÈRES, Jean-François; KORIE, Sam; AYEGNON, David. Correlation of fruit fly (Diptera Tephritidae) infestation of major mango cultivars in Borgou (Benin) with abiotic and biotic factors and assessment of damage. *Crop protection*, v. 28, n. 6, p. 477-488, 2009.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. *Modern applied statistics with S*. 4. ed. New York: Springer, 2002.

WHITE IM, Elson-Harris MM (1992) *Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics*. CAB International, London, p 601

WICKHAM, Hadley. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Verlag, NY: Springer, 2016. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>;

YE, H. U. I.; LIU, JIAN-HONG. Population dynamics of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in the Kunming area, southwestern China. *Insect Science*, v. 12, n. 5, p. 387-392, 2005.

ZUCCHI, R. A., Malavasi, A., Nascimento, A. S., & Walder, J. M. M. (2004). Prejuízos das moscas-das-frutas na exportação de citros. *Visão Agrícola*, 2(2), 73-77.