



Universidade Federal do Amapá
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical
Mestrado e Doutorado
UNIFAP / EMBRAPA-AP / IEPA / CI-Brasil



ERIC JOEL FERREIRA DO AMARAL

**EFEITO DE CLASSES DE SOLO E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE PUPAÇÃO
E VIABILIDADE PUPAL DE *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (1994)**

MACAPÁ, AP

2019

ERIC JOEL FERREIRA DO AMARAL

**EFEITO DE CLASSES DE SOLO E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE PUPAÇÃO
E VIABILIDADE PUPAL DE *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (1994)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical (PPGBIO) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestrem Biodiversidade Tropical.

Orientador: Dr. Ricardo Adaime

Co-orientador: Dr. Nagib Jorge Melém Júnior

MACAPÁ, AP

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Cristina Fernandes – CRB2/1569

Amaral, Eric Joel Ferreira do

Efeito de classes de solo e umidade na profundidade de pupação e viabilidade pupal de *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (1994) / Eric Joel Ferreira do Amaral ; Orientador, Ricardo Adaime ; Coorientador, Nagib Jorge Melém Júnior. – Macapá, 2019.

33 f.

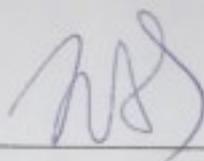
Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical.

1. Mosca – das – frutas. 2. Larvas de mosca. 3. Frutas – desenvolvimento. 4. Biodiversidade – Amazônica. I. Adaime, Ricardo, orientador. II. Melém Júnior, Nagib Jorge, coorientador. III. Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

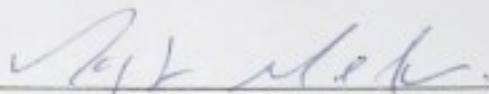
595.77098116 A485e
CDD. 22 ed.

ERIC JOEL FERREIRA DO AMARAL

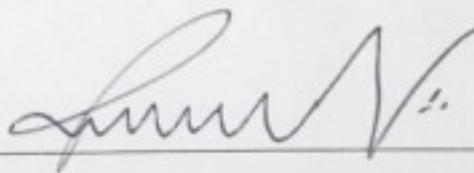
EFEITO DE CLASSES DE SOLO E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE PUPAÇÃO
E VIABILIDADE PUPAL DE *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (1994)



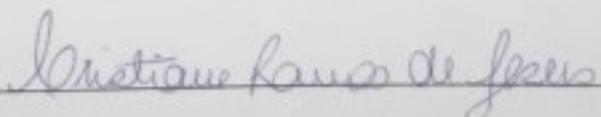
Dr. Ricardo Adaime
Embrapa Amapá



Dr. Nagib Jorge Melém Júnior
Embrapa Amapá



Dr. Raimundo Nonato Picanço Souto
UNIFAP



Dra. Cristiane Ramos de Jesus
Embrapa Amapá

Aprovada em 31 de julho de 2019, Macapá, AP, Brasil

Dedicado à Ediracy Matos e Stephane
Amanajás

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que tornaram essa conquista possível, desde os que me apoiaram nos primeiros níveis de ensino, até aqueles que se dedicaram para que fosse possível se concretizar essa fase de minha vida.

Aos meus progenitores pelo suporte e oportunidades ao longo da vida.

Aos amigos e familiares, que me mostraram o caminho e acreditaram nas possibilidades.

À Bruna Marjara por todo apoio e suporte que foram decisivos para as conquistas de minha vida.

À Muller Lopes e sua esposa pelo suporte na logística.

À Maria do Socorro, minha orientadora não oficial.

À equipe do Laboratório de Proteção de Plantas da Embrapa Amapá, sem vocês esse trabalho não seria possível.

**“Plante uma vida na terra antes que a
terra não tenha uma vida que plante”**

Aline Hermann

RESUMO

Amaral, Eric. Efeito de classes de solo e umidade na profundidade de pupação e viabilidade pupal de *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (1994). Macapá, 2019. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Federal do Amapá.

Bactrocera carambolae é uma praga quarentenária presente no Brasil e hoje representa a principal barreira fitossanitária para a exportação de frutas in natura produzidas no país. Estimativas de profundidade de pupação para *B. carambolae* são importantes para o desenvolvimento de técnicas de amostragem e manejo dessa espécie exótica. Neste trabalho, foi avaliado o efeito de classes de solo e umidade na fase de pupa deste inseto. Foram utilizadas três classes texturais de solo e quatro níveis de umidade, 0%, 30%, 60% e 90% da capacidade de campo de cada solo, totalizando 12 tratamentos, com 6 repetições. As profundidades de pupação variaram da superfície até o quinto centímetro. A classe de solo demonstrou maior significância na relação com o desenvolvimento pupal de *B. carambolae*. A umidade não apresentou significância para profundidade de pupação e emergência, mas correlacionada com o solo apresentou forte interação, mostrando um aumento da emergência conforme aumentou a umidade no solo franco-argiloso e franco argiloarenoso. A metodologia desenvolvida para o trabalho mostrou-se eficiente para trabalhos desta natureza.

Palavras-chave: Moscas-das-frutas; Desenvolvimento pupal; Mosca-da-carambola; Classes texturais.

ABSTRACT

Amaral, Eric. Effect of soil classes and moisture on pupation depth and pupal viability of *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (1994). Macapá, 2019. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Federal do Amapá.

Bactrocera carambolae is a quarantine pest present in Brazil and today represents the main phytosanitary barrier for the exportation of fresh fruits produced in the country. Pupaion depth estimates for *B. carambolae* are important for the development of sampling and management techniques for this exotic species. In this work, the effect of soil classes and moisture on the pupal phase of this insect was evaluated. Three soil textural classes and four moisture levels were used, 0%, 30%, 60% and 90% of the field capacity of each soil, totaling 12 treatments, with 6 repetitions. Pupaion depths varied from the surface to the fifth centimeter. The soil class showed greater significance in relation to the pupal development of *B. carambolae*. Moisture was not significant for pupaion depth and emergence, but correlated with soil showed strong interaction, showing an increase of emergence as the humidity increased in clayey loam and sandy-clay loam soil. The methodology developed for the work proved to be efficient for works of this nature.

Keywords: fruit flies; pupal development; carambola fruit fly; textural classes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. HIPÓTESES	15
3. OBJETIVOS.....	15
3.1 Geral	15
3.2 Específicos.....	15
4. REFERÊNCIAS	16
5. ARTIGO	18
Resumo	18
Abstract.....	19
Introdução.....	19
Materiais e métodos.....	21
Local do estudo	21
Obtenção dos insetos	21
Características dos Solos Testados	22
Protocolo de Experimento	23
Análise dos dados	24
Resultados.....	25
Discussão	27
Conclusão	30
Agradecimentos	30
Referências	30
Anexo	33
Material Suplementar	33

1. INTRODUÇÃO GERAL

Comumente conhecida como mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* Drew e Hancock (Diptera: Tephritidae), é considerada uma praga de importância econômica e quarentenária presente no Brasil, restrita aos estados do Amapá, Pará e Roraima, sob controle oficial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil 2018). A mosca-da-carambola, além de ser uma espécie invasora e gerar impactos ecológicos à fauna e flora nativa, constitui um problema fitossanitário de grande relevância. Os prejuízos vão dos danos gerados diretamente aos frutos à perda de importantes mercados apenas pela sua presença na área de produção (Malavasi 2001), representando, assim, um obstáculo para o desempenho da fruticultura nacional (Barreto et al. 2011).

A dispersão da mosca-da-carambola para as demais regiões do Brasil poderia gerar um prejuízo estimado no valor de 175,1 milhões de reais no seu primeiro triênio, levando em consideração apenas a produção nacional de manga (Miranda et al. 2015).

O conceito oficial de praga é estabelecido pela FAO (2006) como qualquer espécie, raça ou biótipo de vegetais, animais ou agentes patogênicos, nocivos aos vegetais ou produtos vegetais. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), adotando as diretrizes constantes da Norma Internacional para Medidas Fitossanitárias (NIMF) nº 19, no âmbito da Convenção Internacional para a Proteção de Vegetais – CIPV, através da Instrução Normativa Federal nº 52, de 20 de novembro de 2007, classifica as pragas quarentenárias como: 1) ausentes - pragas de importância econômica potencial para uma área em perigo, mas que não está presente no território nacional e 2) presente - praga de importância econômica potencial presente no país, podendo não estar amplamente distribuída (Brasil 2013).

As moscas-das-frutas possuem ampla distribuição geográfica, ocorrendo da região temperada até a tropical, com exceção das áreas árticas e desérticas (Zucchi 2001). Há duas formas mais comuns de dispersão, uma pelo trânsito de frutos infestados de uma região para outra, nos mais diversos meios de transportes, em pequenos períodos de tempo, a outra é pela dispersão natural, gradualmente, através de terreno propício ao longo de muitas gerações (Carey & Dowell 1989).

Bactrocera carambolae (Figuras 1 e 2) é nativa do sudeste da Ásia, região que abrange a Indonésia, Malásia e Tailândia. Sua ocorrência na América do Sul foi registrada oficialmente pela primeira vez no Suriname, em 1975, país que apresenta relações históricas, econômicas e culturais com a Indonésia (Malavasi 2015).

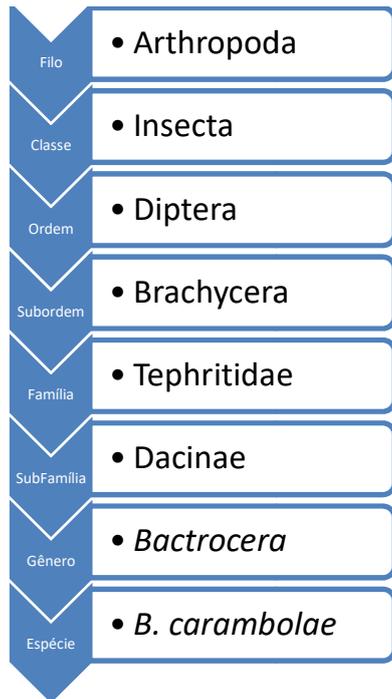


Figura 1 - Classificação taxonômica e imagem de fêmea de *B. carambolae* (mosca-da-carambola). Foto: Eric Joel Ferreira do Amaral.

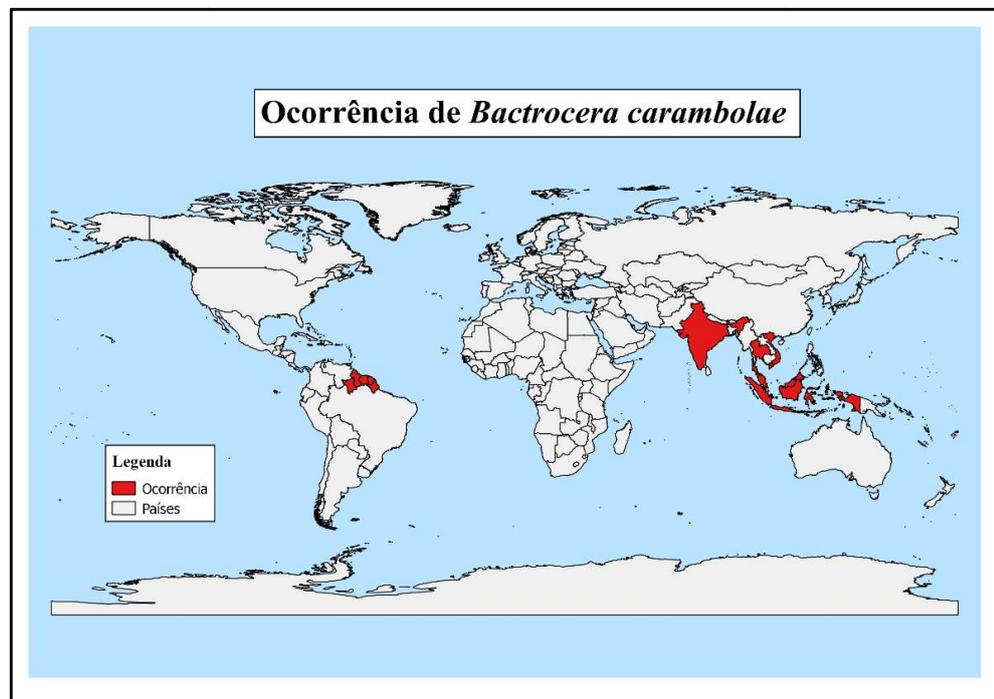


Figura 2. Distribuição geográfica de *B. carambolae*. Adaptado de European and Mediterranean Plant Protection Organization (2014).

No Brasil, *B. carambolae* foi registrada pela primeira vez no município do Oiapoque, estado do Amapá, em março de 1996, sendo introduzida provavelmente pela fronteira com a Guiana Francesa.

Quanto a sua morfologia, adultos medem de 7 a 8 mm de comprimento, apresentam coloração negra na região superior do tórax e mesonoto com duas faixas longitudinais amarelas, o abdome é amarelado e marcado por listras negras que se encontram formando um “T”. As fêmeas possuem um ovipositor na extremidade do abdôme (Brasil 2005, Malavasi 2015).

O período de ovo-adulto é em média de 22 dias em condições favoráveis (26°C e 70% UR). As larvas eclodem de 1 a 2 dias, seu estágio larval se dá de 6 a 9 dias e o de pupa de 8 a 9 dias. Os adultos chegam à maturidade sexual em 8 a 9 dias, onde o período mínimo de tempo para uma geração é de aproximadamente 30 dias (Godoy et al. 2011, Malavasi 2015).

As fêmeas de *B. carambolae* perfuram os frutos verdes ou maduros e colocam até 10 ovos por postura, logo abaixo do pericarpo. As larvas passam por três estádios dentro do fruto, onde se alimentam da polpa e fazem galerias, em seguida, normalmente quando o fruto já está no chão, as larvas se enterram cerca de 2 a 7 cm no solo para pupação (Malavasi 2015).

As larvas de *B. carambolae* são capazes de saltar várias vezes cerca de 10 cm de distância e se movem para locais com condições mais adequadas para o desenvolvimento da pupa (Malavasi 2009). Os adultos vivem em média 125 dias, variando de acordo com a temperatura e a disponibilidade de recursos alimentares, e possuem grande capacidade de dispersão através do voo, porém tendem a se estabelecer onde emergem quando há disponibilidade de alimento e hospedeiros. Em condições de laboratório as fêmeas podem colocar ao longo da vida mais de 3.000 ovos. Em condições naturais esse montante pode ser de 1.200 a 1.500 ovos (Malavasi 2015).

Bactrocera carambolae infesta mais de 100 espécies frutíferas no sudeste asiático, seu centro de origem (Malavasi 2015). Devido à diversidade de hospedeiros, ressalta-se a importância do controle desta praga. No Brasil, a lista completa de hospedeiros consta de 21 espécies vegetais pertencentes a nove famílias botânicas. Dentre as espécies hospedeiras destacam-se: *Psidium guajava* (goiaba), *Syzygium malaccense* (jambo vermelho), *Averrhoa carambola* (carambola), *Citrus aurantium* (laranja) e *Mangifera indica* (manga) (Adaime et al. 2016).

O estágio de vida das moscas-das-frutas no solo expõe estes insetos a diferentes fatores bióticos e abióticos, incluindo diferentes tipos, temperaturas, densidade e níveis de umidade do solo. Hennessey (1994) estudou *Anastrepha suspensa* Loew levando em

consideração diferentes tipos de solo, umidade e compactação, e verificou que a profundidade de pupação diferiu significativamente em relação às diferentes umidades, variando de 0,7 cm a 3,3 cm para a menor umidade. As larvas puparam em maior profundidade em solos de baixa compactação e a diferença de profundidade entre compactação baixa e alta foi maior para solos de baixa umidade do que para solos de alta umidade. O autor observou que solos com tamanhos maiores de partículas geralmente possuem uma estrutura de poros abertos, o que facilita o movimento e a penetração das larvas para maiores profundidades. A pupação foi de 100% para todos os tratamentos e a emergência dos adultos foi a partir de 66,7%, mas sem diferenças significativas.

Bobot et al. (2001) verificaram que a textura do solo influencia diretamente na profundidade de pupação das larvas de *Anastrepha striata* Schiner e *Anastrepha obliqua* (Macquart). Eskafi e Fernandez (1990) encontraram influência significativa da umidade e do tipo de solo sobre a emergência de *Ceratitis capitata* (Wiedemann), observando que nos diferentes tipos de solo a mosca-do-mediterrâneo prefere aqueles com menor umidade. Alyokhin et al. (2000) observaram que a maioria das larvas de *Bactrocera dorsalis* (Hendel) puparam em áreas sombreadas, para evitar a dessecação, assim como outros estudos demonstraram uma busca ativa por lugares adequados à pupação (Hulthen & Clarke 2006). Esses trabalhos sugerem que as larvas de tefritídeos preferem solos úmidos com grandes tamanhos de partículas. Segundo Jackson et al. (1998), a perda excessiva de água durante a pupação é uma causa importante de mortalidade em *B. dorsalis* e *C. capitata*.

Dimou et al. (2003) avaliaram a profundidade de pupação de *Bactrocera oleae* (Rossi) e verificaram que nos casos em que a umidade do solo se aproximava de 100%, a falta de oxigênio no solo induziu à pupação na superfície.

No estado do Amapá, onde *B. carambolae* ocorre há mais de 20 anos, os estudos visando obter informações a respeito da fase de pupa dessa espécie são escassos. Assim, esta pesquisa tem como objetivo elucidar características que influenciam a fase pupal de *B. carambolae*, avaliando os efeitos de diferentes classes texturais e níveis de umidade do solo na profundidade de pupação e viabilidade pupal dessa espécie em condições controladas de laboratório.

2. HIPÓTESES

- Classes de solo e níveis de umidade interagem com profundidade de pupação e emergência de *B. carambolae*.
- Solos com concentração de partículas maiores são mais porosos e possibilitam que a larva alcance profundidades maiores.
- Solos secos podem ocasionar o ressecamento de pupas e solos com altos níveis de umidade comprometem a viabilidade das pupas pela falta de oxigênio.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar os efeitos de classes de solo e níveis de umidade do solo no desenvolvimento pupal de *B. carambolae*.

3.2 Específicos

- Analisar a relação entre classes texturais e níveis de umidade com a profundidade de pupação de *B. carambolae*.
- Analisar a relação da classe textural e nível de umidade com a emergência de *B. carambolae*.

4. REFERÊNCIAS

- Alyokhin, A. V., C. Mille, R. H. Messing & J. J. Duan. 2001. Selection of pupation habitats by oriental fruit fly larvae in the laboratory. *Journal of insect behavior* 14(1): 57-67.
- Adaime, R., de Jesus-Barros, C. R., Bariani, A., Lima, A. L., Cruz, K. R., & Carvalho, J. P. 2016. Novos registros de hospedeiros da mosca-da-carambola (*Bactrocera carambolae*) no Estado do Amapá, Brasil. Embrapa Amapá - Comunicado Técnico.
- Barreto, M. C., P. C. G. da Silva, A. C. de Carvalho, C. O. de Almeida, & A. E. Wander. 2011. Impactos socioeconômicos da dispersão da mosca-da-carambola (*Bactrocera carambolae*) à fruticultura nacional. p.183-195. in Silva R. A, W. P. Lemos, & R. A. Zucchi, editores. Moscas-das-frutas na Amazônia Brasileira: diversidade, hospedeiros e inimigos naturais. Macapá: Embrapa Amapá, Amapá, Brasil.
- Bobot, T. E., B. R. Teles, & R. A. Rocha. 2001. Profundidade de Pupação de Espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) em Dois Tipos de Solos da Região Amazônica. Disponível em: repositorio.inpa.gov.br/handle/123/7015. Acesso em 23 de junho de 2017.
- Brasil. 2005. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Atenção praga perigosa: programa de erradicação da mosca da carambola (*Bactrocera carambolae*). Disponível em: www.agricultura.gov.br. Acesso em 23 setembro de 2017.
- Brasil. 2018. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução nº 6, de 23 de nov. de 2018. Diário oficial da união, Brasília, DF, Brasil.
- Carey, J. & R. Dowell. (1989). Exotic fruit fly pests and California agriculture. *California agriculture* 43: 38-40.
- Dimou, I., C. Koutsikopoulos, A. P. Economopoulos, & J. Lykakis. 2003. Depth of pupation of the wild olive fruit fly, *Bactrocera* (*Dacus*) *oleae* (Gmel.) (Diptera, Tephritidae), as affected by soil abiotic factors. *Journal of applied entomology*, 127(1): 12-17.
- Eskafi, F.M. & A. Fernandez. 1990. Larval-pupal mortality of mediterranean fruit fly (Diptera:Tephritidae) from interaction of soil, moisture, and temperature. *Environmental Entomology*, v. 19: 1666-1670.
- FAO. Glossary of phytosanitary terms. Rome: Secretariat of the International Plant Protection Convention, 2006. (ISPM No 5).
- Godoy, M. J., W. S. Pacheco, R. R. Portal, J. M. Pires Filho, & L. M. Moraes. 2011. Programa Nacional de Erradicação da Mosca-da-carambola. Pages 135-172 in Silva R.

- A, W. P. Lemos, & R. A. Zucchi, editores. Moscas-das-frutas na Amazônia Brasileira: diversidade, hospedeiros e inimigos naturais. Macapá: Embrapa Amapá, Amapá, Brasil.
- Hennessey, M.K. 1994. Depth of pupation of caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in soils in the laboratory. *Environmental Entomology*, College Park, v. 23: 1119-1123.
- Hulthen, A.D. & A.R. Clarke. 2006. The influence of soil type and moisture on pupal survival of *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae). *Australian Journal of Entomology* 45: p. 16-19.
- Jackson, C.J., J.P. Long & L. M. Klungness. 1998. Depth of pupation in four species of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in sand with and without moisture. *Journal of Economic Entomology*, v. 91, n. 1: 138-142.
- Malavasi A. 2009. Biologia, ciclo de vida, relação com o hospedeiro, espécies importantes e biogeografia de tefritídeos, pp. 1–15 In Malavasi A, J. Virgínio, editores. Biologia, Monitoramento e Controle de Moscas-das-frutas: V Curso Internacional de Capacitação em Moscas-das-frutas, 21 a 29 de outubro de 2009. Biofábrica Moscamed Brasil, Juazeiro, Bahia, Brazil.
- Malavasi, A. 2001. Mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae). Pages 30-41 in Vilela E. F., R. A. Zucchi, and F. Cantor, editores. Histórico e impacto de pragas introduzidas no Brasil. Holos, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.
- Malavasi, A. 2015. Mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock. Page 173-184. In: Vilela, E. F. & R. A. Zucchi, editores. Pragmas introduzidas no Brasil, insetos e ácaros. FEALQ. Piracicaba, São Paulo, Brasil.
- Miranda, S. H., A. M. Nascimento, & V. P. Ximenes. 2015. Potenciais impactos socioeconômicos da expansão da mosca-da-carambola. Page 114-132 In: Vilela, E. F. & R. A. Zucchi, editores. Pragmas introduzidas no Brasil, insetos e ácaros. FEALQ. Piracicaba, São Paulo, Brasil.
- Zucchi, R. A. 2001. Mosca-do-mediterrâneo, *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae). Page 13-24. Histórico e Impacto de Pragmas introduzidas no Brasil. In Vilela, E. F., R. A. Zucchi, and F. Cantor, editores. Holos, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.

5. ARTIGO

EFEITO DE CLASSES DE SOLO E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE PUPAÇÃO E VIABILIDADE PUPAL DE *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (1994)

Autores: Eric Joel Ferreira do Amaral^{1*}, Maria do Socorro Miranda de Sousa¹, Jhulie Emille Veloso dos Santos², Lauane Monteiro Costa³, Nagib Jorge Melém Júnior⁴, José Júlio de Toledo¹ e Ricardo Adaime^{1,4}

¹Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical, Macapá, Amapá, 68902-280, Brasil.

²Faculdade de Macapá, Macapá, Amapá, 68906-801, Brasil.

³Universidade Federal do Amapá, Curso de Ciências Ambientais, Macapá, Amapá, 68902-280, Brasil.

⁴Embrapa Amapá, Macapá, Amapá, 68903-419, Brasil.

*Corresponding author; E-mail: ericamaral@unifap.br

Resumo

Bactrocera carambolae é uma praga quarentenária presente no Brasil e hoje representa a principal barreira fitossanitária para a exportação de frutas in natura produzidas no país. Estimativas de profundidade de pupação para *B. carambolae* são importantes para o desenvolvimento de técnicas de amostragem e manejo dessa espécie exótica. Neste trabalho, foi avaliado o efeito de classes de solo e umidade na fase de pupa deste inseto. Foram utilizadas três classes texturais de solo e quatro níveis de umidade, 0%, 30%, 60% e 90% da capacidade de campo de cada solo, totalizando 12 tratamentos, com 6 repetições. As profundidades de pupação variaram da superfície até o quinto centímetro. A classe de solo demonstrou maior significância na relação com o desenvolvimento pupal de *B. carambolae*. A umidade não apresentou significância para profundidade de pupação e emergência, mas correlacionada com o solo apresentou forte interação, mostrando um aumento da emergência conforme aumentou a umidade no solo franco-argiloso e franco argiloarenoso. A metodologia desenvolvida para o trabalho mostrou-se eficiente para trabalhos desta natureza.

Palavras-chave: Moscas-das-frutas; Desenvolvimento pupal; Mosca-da-carambola; Classes texturais.

Abstract

Bactrocera carambolae is a quarantine pest present in Brazil and today represents the main phytosanitary barrier for the exportation of fresh fruits produced in the country. Pupa depth estimates for *B. carambolae* are important for the development of sampling and management techniques for this exotic species. In this work, the effect of soil classes and moisture on the pupal phase of this insect was evaluated. Three soil textural classes and four moisture levels were used, 0%, 30%, 60% and 90% of the field capacity of each soil, totaling 12 treatments, with 6 repetitions. Pupa depths varied from the surface to the fifth centimeter. The soil class showed greater significance in relation to the pupal development of *B. carambolae*. Moisture was not significant for pupa depth and emergence, but correlated with soil showed strong interaction, showing an increase of emergence as the humidity increased in clayey loam and sandy-clay loam soil. The methodology developed for the work proved to be efficient for works of this nature.

Keywords: fruit flies; pupal development; carambola fruit fly; textural classes.

Introdução

Comumente conhecida como mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* Drew e Hancock, é considerada uma praga de importância econômica e quarentenária presente no Brasil, restrita aos estados do Amapá, Pará e Roraima, sob controle oficial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil 2018). Sua ocorrência é considerada a principal barreira fitossanitária para exportação de frutas in natura do Brasil, uma vez que sua presença em áreas de produção provoca restrições quarentenárias impostas pelos países importadores (Godoy et al. 2011).

A dispersão da mosca-da-carambola para as demais regiões produtoras de frutos no Brasil poderia gerar um prejuízo estimado no valor de 175,1 milhões de reais no seu primeiro triênio, levando em consideração apenas a produção nacional de manga (Miranda et al. 2015).

Bactrocera carambolae infesta mais de 100 espécies de frutíferas no sudeste asiático, seu centro de origem (Malavasi 2015). No Brasil, a lista completa de hospedeiros consta de 21 espécies vegetais pertencentes a nove famílias botânicas (Adaime et al. 2016).

O ciclo de vida desse inseto ocorre na vegetação quando adulto, na fase larval a espécie precisa infestar frutos e na fase pupal o desenvolvimento ocorre no solo. A fêmea de *B. carambolae* põe seus ovos diretamente no fruto hospedeiro, onde as larvas se desenvolvem e em seguida deixam a fruta para penetrar e pupar no solo, onde passam cerca de 8 a 9 dias antes de emergirem como adultos (Malavasi 2015).

No período em que estão no solo, os imaturos (larvas e pupas) estão expostos a diversas variáveis (Salles et al. 1995; Hulthen & Clark 2006). A fase de pupa representa um

sistema semifechado, onde as relações energéticas são reduzidas à troca de gases e ao seu conteúdo hídrico. O sucesso dessa fase depende principalmente do desenvolvimento larval, em que o organismo acumula e armazena uma quantidade de substâncias de reserva (Malavasi & Zucchi 2000).

O solo é um sistema constituído de minerais, poros ocupados por água e ar, e uma parte orgânica, sendo composto basicamente de três fases (sólida, líquida e gasosa) que interagem de forma complexa, formando o principal substrato para o desenvolvimento das plantas e animais (Buckman & Brady 1974). De acordo com Nikiforoff (1941), a associação dos constituintes do solo em partículas agregadas define a estrutura do solo, diferenciando-se em tamanho, variando de tamanhos microscópicos a macroscópicos, forma, estabilidade e grau de separação entre suas partículas. Conforme o tamanho dos agregados das partículas, subdivide-se a estrutura do solo em duas categorias: microestrutura, quando menor que 1 mm, e macroestrutura, quando superior a 1 mm. Na gênese da estrutura do solo, a água possui papel essencial e, mesmo depois de formada, permanecem intrinsecamente relacionadas (Moniz 1975). Como *B. carambolae* passa o período onde está mais suscetível de sua vida no solo, torna-se imprescindível determinar os fatores que afetam a espécie. No entanto, até o momento não existe informação básica sobre os efeitos do tamanho das partículas e da umidade sobre o sucesso reprodutivo da espécie.

A estrutura e complexidade do solo afetam significativamente os organismos vivos (plantas e animais microscópicos e macroscópicos) que vivem ou dependem direta e indiretamente dele. Características como composição e tamanho das partículas interagem com o suprimento de água e a aeração, assim como a atividade microbiana, dentre outras condições que influenciam a sobrevivência da pupa na natureza. O abastecimento habitual de água no solo se dá através da precipitação pluviométrica, por meio de escoamento ou infiltração (Moniz 1975). Para se conhecer as relações no sistema água-solo-plantas, ao longo dos anos foram desenvolvidos diversos estudos que estabeleceram as “constantes” de umidade do solo, como a capacidade de campo, que é conceituada como o ponto de saturação do solo em relação à quantidade de água nele retida após a drenagem do excesso e a diminuição do movimento descendente da água no solo (Moniz 1975; Veihmeyer & Hendrickson 1931, 1949). A umidade está relacionada à sobrevivência dos insetos pela disponibilidade de oxigênio, sendo ela fator limitante à aeração do solo por preencher a porosidade, e a ausência de umidade ocasiona o ressecamento de pupas.

Pesquisas realizadas com outras espécies de tefritídeos concluíram que a classe do solo e seu nível de umidade influenciam o desenvolvimento pupal e a mortalidade. Por exemplo,

solos com partículas grandes geralmente têm uma estrutura de poros abertos, que facilita o movimento larval e a penetração a maiores profundidades (Hennessey 1994; Dimouet al. 2003). Eskafi & Fernandez (1990) e Alyokhin et al. (2001) sugerem que as larvas de tefritídeos demonstram preferências por pupar em solos úmidos com grandes tamanhos de partículas. Evidencia-se que a maioria das larvas de *Bactrocera dorsalis* (Hendel), em um estudo de laboratório, puparam em áreas sombreadas, para evitar a dessecação (Alyokhin et al. 2001). Segundo Jackson et al. (1998), a perda excessiva de água durante a pupação é uma causa importante de mortalidade em *B. dorsalis* e *Ceratitis capitata* (Wiedemann). Hulthen e Clarke (2006) verificaram que fatores como nível de umidade e tipo de solos apresentaram interação significativa com a mortalidade de pupa de *Bactrocera tryoni* (Froggatt).

No estado do Amapá, onde *B. carambolae* ocorre há mais de 20 anos, estudos visando obter informações a respeito da fase de pupa dessa espécie são inexistentes. O conhecimento sobre essa fase de vida é essencial, pois pode ser usado em estratégias de amostragem e de manejo dessa praga. Assim, esta pesquisa tem como objetivo avaliar os efeitos de diferentes classes de solo e níveis de umidade no desenvolvimento pupal de *B. carambolae*.

Materiais e métodos

Local do estudo

O estudo foi realizado no Laboratório de Proteção de Plantas da Embrapa Amapá (0°00'48.7"S, 51°04'59.9"W), na cidade de Macapá, Amapá, sendo executado em sala com condições controladas de temperatura ($26\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), umidade relativa ($60\pm 10\%$) e fotoperíodo (12h).

Obtenção dos insetos

Larvas de terceiro instar de *B. carambolae* foram obtidas da criação já estabelecida desde 2013 no Laboratório de Proteção de Plantas, segundo a metodologia descrita por Bariani et al. (2016), porém com dieta para larvas à base de cenoura.

Disponibilizamos três dispositivos artificiais de oviposição (Figura 1A) preparados a partir de frascos vazios de iogurte, com capacidade de 80 ml, perfurados com um alfinete, contendo um pedaço de goiaba para estimular a oviposição, e água destilada em seu interior para evitar o ressecamento dos ovos. Os dispositivos foram mantidos em gaiola de criação de *B. carambolae* de sétima geração por 24h (Figura 1B). Após este período, os ovos foram coletados, dispostos sobre papel filtro (Figura 1C) e mantidos sobre dieta larval à base de

cenoura (Figura 1D), em bandejas plásticas, dentro de envelopes de papel (Figura 1E), acondicionadas em incubadora B.O.D. Os ovos foram acompanhados durante nove dias, até a obtenção de larvas de terceiro instar, pois nesse estágio as larvas estão no momento mais próximo da pupação.

Para dieta larval à base de cenoura, são necessários 500 gramas de cenoura crua sem casca, 500 gramas de cenoura cozida sem casca, 500 gramas de açúcar, 600 gramas de farinha de milho, 100 gramas de levedo de cerveja, 14,4 gramas de ácido cítrico, 4,4 gramas de benzoato de sódio, 4,4 gramas de Metilparabeno, 100 ml de água para diluir o ácido cítrico, 100 ml para diluir o benzoato de sódio, e álcool 70% para diluir o Metilparabeno. Os ingredientes são processados em um triturador e homogeneizados em um liquidificador para então serem armazenados em bandejas no congelador.



Figura 1 – A) Dispositivo de oviposição; B) Gaiola com adultos de *B. carambolae*; C) Ovos de *B. carambolae*; D) Dieta à base de cenoura disposta em bandeja plástica contendo larvas de *B. carambolae*; E) Envelope de papel contendo bandeja plástica com larvas de *B. carambolae*. Fotos: Eric Joel Ferreira do Amaral.

Características dos Solos Testados

Foram selecionados solos representativos quanto ao potencial econômico, de classes arenosa, franco argiloarenosa e franco-argilosa, coletados, respectivamente, nas localidades de Nova Colina (0°38'42.5"N, 51°49'20.2"W), Munguba (0°38'09,8"N, 51°20'12.7"W) e Matapi (0°38'09.8"N, 51°20'12.7"W), município de Porto Grande, Amapá. Os locais de coleta foram selecionados de acordo com a proximidade com a estrada.

Foram coletadas amostras deformadas dos primeiros 20 cm de profundidade, correspondendo a 8 kg de cada classe de solo. As amostras foram transportadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Amapá, em Macapá, onde foram realizadas análise granulométrica. As amostras foram peneiradas (malha de 2mm) e secadas à sombra durante 48h.

As variáveis de solo analisadas remetem à granulometria (textura) (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise granulométrica dos solos testados.

Solos	Argila (<0,002mm) g/kg	Areia Grossa (0,2 a 2mm) g/kg	Areia Fina (0,05 a 0,2mm) g/kg	Silte (0,002 a 0,5mm) g/kg	Classificação Textural
1	64	660	220	36	Arenosa
2	325	330	260	85	Francoargiloarenosa
3	289	215	150	346	Franco-Argilosa

Protocolo de Experimento

Foram testadas três classes texturais de solo (arenosa, franco argiloarenosa e franco-argilosa) e quatro diferentes níveis de umidade do solo (0%, 30%, 60%, 90%) (Figura 2A), totalizando 12 tratamentos com 6 repetições cada. Foram utilizados recipientes cilíndricos de isopor (7 cmx 10 cm), divididos em anéis de 1 cm, sobrepostos, contendo solo (Figura 2B). Em cada recipiente foram colocadas 20 larvas de terceiro instar de *B. carambolae* sobre a superfície do solo, totalizando 1.440 larvas.

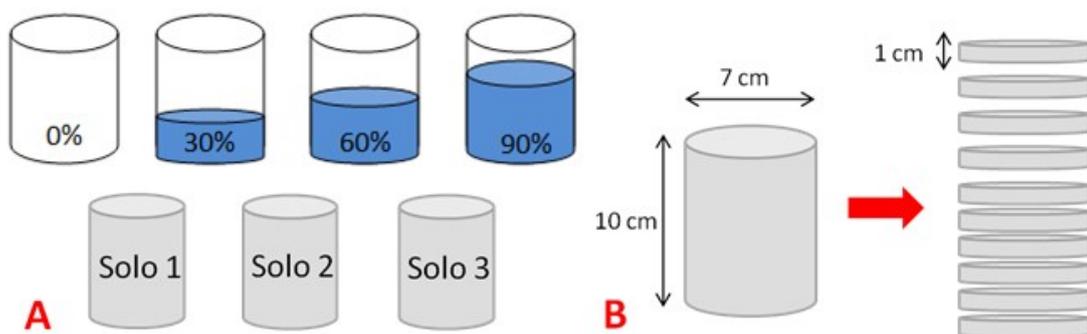


Figura 2 – A) Esquema dos níveis de umidade e classes de solo testados; B) Recipientes cilíndricos de isopor divididos em anéis de 1 cm sobrepostos.

Para determinar os níveis de umidade utilizados para cada classe de solo no experimento, foi definida a capacidade de campo segundo o método do tubo, descrito por Costa et al. (1997), que simula a determinação desta característica em condições de vaso.

Os recipientes foram umedecidos até alcançarem o valor correspondente à capacidade de campo para cada tratamento. Após algumas horas as larvas foram depositadas na superfície do solo (Figura 3A). Sobre os recipientes cilíndricos foram utilizados potes plásticos com fundo vazado (vedado com tecido organza) presos com ligas de borracha (Figura 3B). Os recipientes foram vistoriados diariamente até a emergência dos insetos, contabilizando os que emergiram, até que não houvesse mais emergências.

A profundidade de pupação foi medida após 7 dias do início da emergência dos insetos, removendo cuidadosamente os anéis a cada centímetro (Figura 3C) e transferindo o solo para uma bandeja plástica (Figura 3D) e depois para uma peneira (Figura 3E), onde foram realizadas a triagem e contagem dos pupários em cada faixa de 1cm de profundidade (Figura 3F). Adultos emergidos que não conseguiram romper a camada do solo foram contabilizados separadamente.

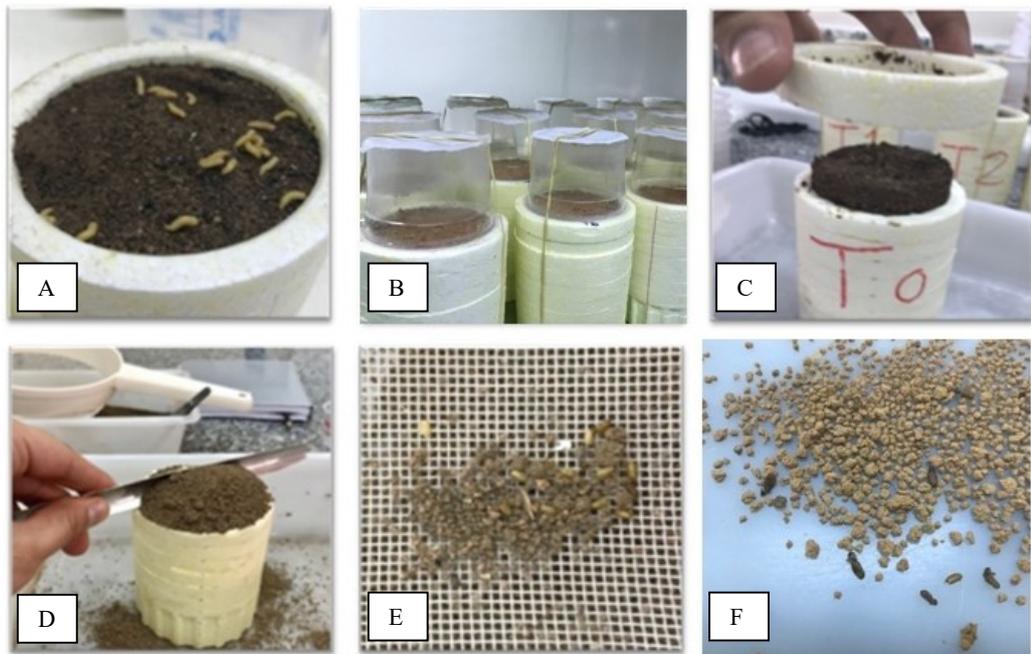


Figura 3 – A) Larvas de *B. carambolae* na superfície do solo; B) Recipientes utilizados no experimento; C) Remoção dos anéis de 1 cm; D) Transferência do solo para bandeja plástica; E) Triagem e contagem de pupários. F) Insetos que não romperam a camada do solo. Fotos: Eric Joel Ferreira do Amaral.

Análise dos dados

Modelos Lineares Generalizados (MLG) foram usados para testar os efeitos do solo, umidade e profundidade sobre o número de pupas. Também foram testados os efeitos de solo e umidade sobre o número de insetos emergidos, usando o tempo de pupação (em dias) como covariável. A distribuição de Poisson foi assumida para os modelos, tendo em vista que as

variáveis resposta são dados de contagem. As análises foram realizadas no programa R, versão 3.5.2 (R Core Team, 2018).

Resultados

Das 1.440 larvas utilizadas no experimento, foram obtidas 1.286 pupas, das quais emergiram 1.037 moscas. A emergência foi de 72% do total pupas, sendo que para o solo de classe arenosa foi de 84%, no solo franco argiloarenosa de 52% e no solo franco-argilosa de 72%. Das pupas recuperadas, 4% foram encontradas na superfície do solo, 23% no primeiro centímetro, 44% no segundo centímetro, 22% no terceiro centímetro e cerca de 7% no quarto e quinto centímetros (Figura 4).

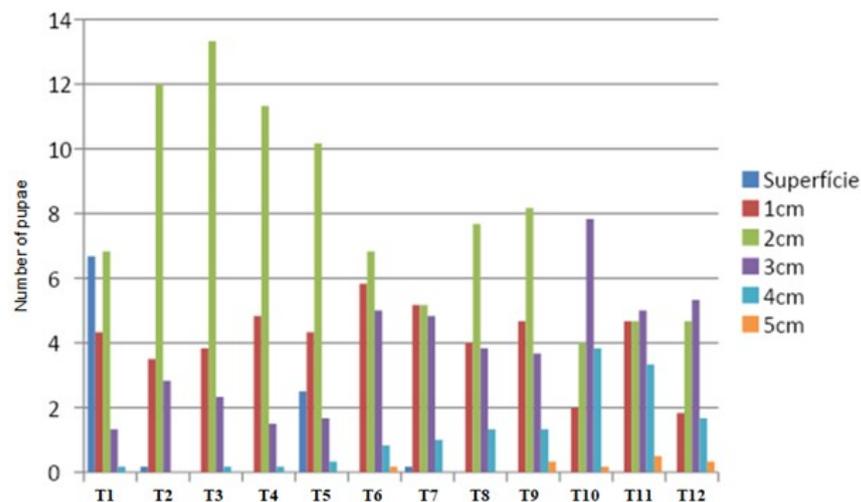


Figura 4 - Número de pupas por centímetro para cada Tratamento. Tratamentos: T1- Solo 1x Umidade 0%, T2- Solo 1x Umidade 30%, T3- Solo 1x Umidade 60%, T4- Solo 1x Umidade 90%, T5- Solo 2x Umidade 0%, T6- Solo 2x Umidade 30%, T7- Solo 2x Umidade 60%, T8- Solo 2x Umidade 90%, T9- Solo 3x Umidade 0%, T10: Solo 3x Umidade 30%, T11: Solo 3x Umidade 60%, T12: Solo 3x Umidade 90%.

Foi verificado que 6% das moscas emergiram de suas pupas, mas não romperam a camada do solo. Esta ocorrência foi de 3% nos solos de classe franco-argilosa e 3% no franco argiloarenosa, no tratamento com 0% de umidade.

A profundidade de pupação foi dependente do tipo de solo (Figura 5, Anexo: Tabela A1). No solo arenoso o número de pupas diminuiu exponencialmente com o aumento da profundidade (MLG: $b = -0.44$, $P < 0.001$), com ausência de pupas aos 5 cm de profundidade (Figura 5a), enquanto que os efeitos dos solos argilo-arenoso ($b = -0.384$, $P = 0.075$) e no argiloso ($b = -0.290$, $P < 0.001$) foram um pouco mais amenos, com uma ou nenhuma pupa

sendo encontrada a partir de 6 cm de profundidade (Figura 5b-c). A umidade não mostrou efeito significativo sobre a profundidade de pupação ($b < |-0.002|$, $P > 0.35$; Figura 5d-f).

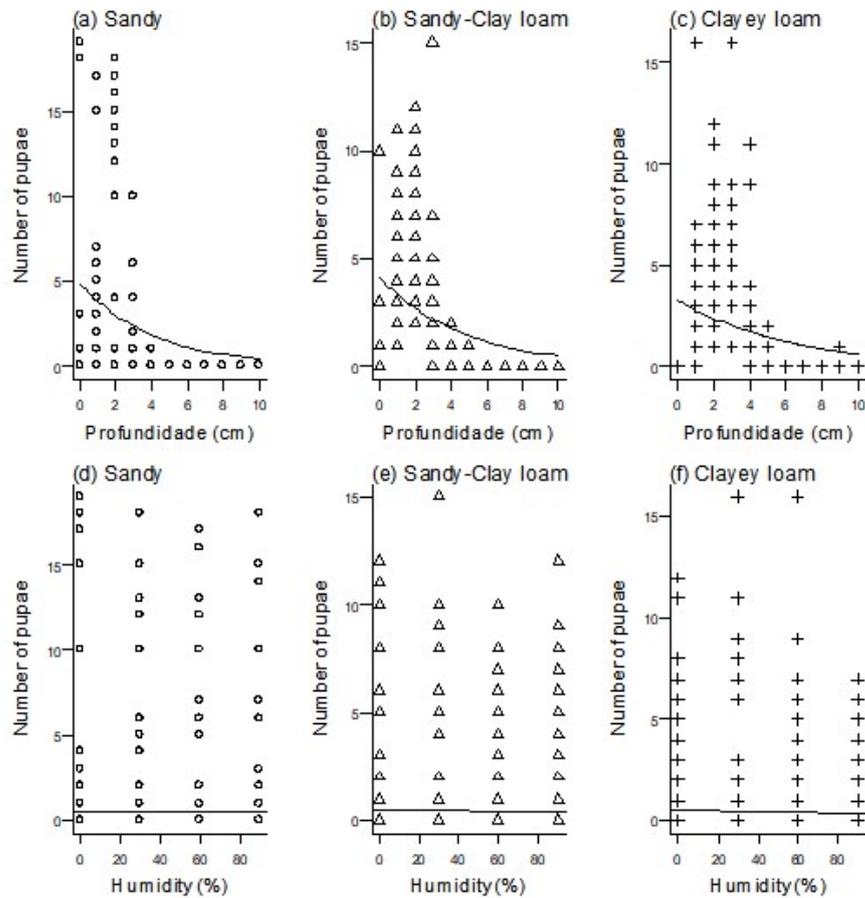


Figura 5 – Efeito da profundidade e da umidade sobre o número de pupas. As linhas nos gráficos de relação entre número de pupas e profundidade (a-c) representam modelos exponenciais [a) $y = \exp(1.58 - 1.24^{***}x)$, b) $y = \exp(1.42 - 0.21^{***}x)$ e c) $y = \exp(1.18 - 0.16^{***}x)$] e as retas nos gráficos da relação entre número de pupas e umidade (d-f) representam modelos lineares com distribuições de Poisson [d) $y = 0.56 - 0.0006x$, e) $y = 0.55 - 0.0017x$ e f) $y = 0.55 - 0.0025x$]. *** $P < 0.001$.

A emergência de insetos seguiu um padrão não linear, com picos entre o segundo e terceiro dias, diminuindo abruptamente a partir do quarto dia (Figura 6a-c; Anexo: Tabela A1). Além disso, a relação entre número de insetos emergidos e tempo apresentou padrões diferentes relacionados ao tipo de solo. A quantidade de insetos emergidos diminuiu com o tempo de pupação de forma mais acentuada no solo arenoso (MLG: $b = -0.68$, $P < 0.001$), com ausência de emergentes a partir do quinto dia (Figura 6a). No solo argilo-arenoso ($b = -0.39$, $P < 0.001$) e no solo argiloso ($b = -0.50$, $P < 0.001$) a emergência de insetos permaneceu até o sétimo dia (Figura 6b-c).

A umidade não afetou a emergência de insetos no solo arenoso ($b = 0.0015$, $P = 0.4$; Figura 6d), mas o efeito dessa variável foi significativo nos solos argilo-arenoso ($b = 0.0088$,

$P < 0.001$; Figura 6e) e argiloso ($b = 0.065$, $P < 0.001$; Figura 6f), mostrando um efeito positivo fraco (Anexo : Tabela A1).

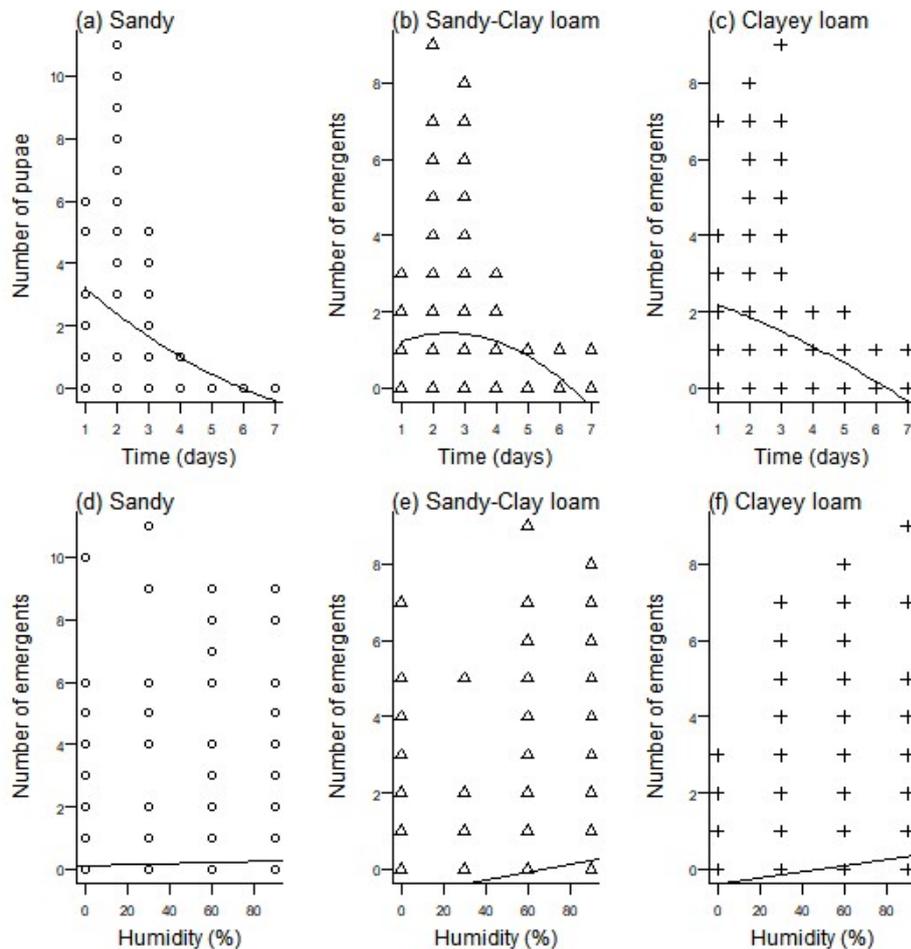


Figura 6 - Efeito do tempo e da umidade sobre a emergência de insetos. As linhas nos gráficos de relação entre número de emergentes e o tempo (a-c) representam modelos não lineares com um termo quadrático [a) $y = 4.12*** - 0.94***x + 0.04x^2$, b) $y = 0.81* + 0.5*x - 0.098***x^2$ e c) $y = 2.47*** - 0.26x - 0.02x^2$] e as retas nos gráficos da relação entre número de emergentes e umidade (d-f) representam modelos lineares com distribuições de Poisson [d) $y = 0.11 + 0.0016x$, e) $y = -0.69*** + 0.01***x$ e f) $y = -0.37*** + 0.008***x$]. *: $P < 0.05$; *** $P < 0.001$.

Discussão

Das pupas recuperadas, 89% estavam nos primeiros 4 cm de profundidade, corroborando os resultados de Alyokhin et al. (2001), que observaram que a maioria das larvas de *B. dorsalis* puparam nos primeiros 4 cm do solo. Um total de 10,7% das larvas utilizadas no nosso experimento não foram recuperadas. Estes insetos possivelmente não chegaram à fase de pupa ou ressecaram após puparem. Hodgson et al. (1998) testaram em campo a taxa de desaparecimento de pupas, depositando na superfície do solo e em

profundidades de 2,5 e 5 cm pupas de espécies de *Anastrepha* Schinere acompanharam diariamente por 10 dias. As pupas na superfície invariavelmente desapareciam a uma taxa maior do que aquelas sob a superfície. Não houve diferença na taxa de desaparecimento de pupas enterradas em 2,5 e 5 cm, sugerindo que as larvas não ganhariam benefícios por pupar em profundidades abaixo daquelas encontradas na natureza. No trabalho de Salles e Carvalho (1993) as larvas de *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) se concentraram até os primeiros 10 cm em ambiente natural e, quando com um nível de compactação maior, apenas até 4 cm.

A classe de solo demonstrou ser o fator de maior relevância nas variáveis analisadas referentes ao desenvolvimento pupal de *B. carambolae*. Há um efeito negativo na profundidade de pupação, indicando que quanto maior a profundidade, menor o número de pupas. Este efeito tem uma dependência do tipo de solo, onde em solos que apresentam maior concentração de areia, partículas de tamanho que variam de 0,05mm a 2mm, apresentam efeito negativo quanto ao número de pupas por profundidade, enquanto solos com menor concentração apresentam um efeito negativo ainda maior.

Hennessey (1994) observou que as larvas de *Anastrepha suspensa* (Loew) puparam em maior profundidade em solos de baixa compactação e que solos com tamanhos maiores de partículas, geralmente possuem uma estrutura de poros abertos, o que facilita o movimento e a penetração das larvas para maiores profundidades. Quanto maior a equivalência de partículas menores, maior a densidade, tornando o solo menos poroso, e assim limitando a penetração das larvas e a saída dos insetos emergidos. Essa hipótese condiz com o fato de encontrarmos moscas que não conseguiram deixar o solo, nas classes franco-argilosa e franco argiloarenosa no tratamento com 0% de umidade.

É importante ressaltar também que a baixa compactação do solo não apenas favorece a pupação das moscas-das-frutas, como também facilita a penetração dos artrópodes predadores, que podem impactar diretamente na mortalidade de pupas (Hodgson et al., 1998). No entanto, isso não ocorreu em nosso experimento, pois não era possível a entrada de predadores. Para Salles e Carvalho (1993), no seu trabalho com *A. fraterculus*, não houve relação significativa do nível de compactação do solo com o tempo de pupação e o número de insetos emergidos.

Foi verificado que existe um efeito significativo do solo sobre a emergência de *B. carambolae*, diminuindo do solo arenoso para o mais argiloso. Para Milward-de-Azevedo e Parra (1989), a viabilidade pupal de *C. capitata* é bastante afetada no latossolo, sendo observados maiores valores nas condições mais secas. Em outro solo testado, as maiores viabilidades ocorrem nas umidades intermediárias.

A umidade por si só não apresentou uma relação significativa com a profundidade de pupação e a emergência. No entanto, correlacionada com a classe de solo apresentou uma forte interação, havendo aumento da emergência conforme aumentou a umidade no solo franco-argiloso e franco argiloarenoso, solos com concentração de partículas menores em maior porcentagem. Para Dimou et al. (2003), ao testar a relação de umidade e profundidade de pupação em espécies de *Bactrocera*, as profundidades foram maiores nos solos a 50% da capacidade de campo do que naquelas com 10% de capacidade de campo. Em nosso experimento utilizamos um espectro maior de umidade. Para Bento et al. (2010), a emergência de *C. capitata* foi afetada pela umidade, independentemente do tipo de solo, e foi maior nos solos mais secos. Salles et al. (1995), em seu trabalho com *A. fraterculus*, constataram que há relação da umidade e da temperatura na emergência de adultos, onde há maior influência da temperatura em relação à umidade do solo, porém não há descrição das características do solo e umidade utilizadas no experimento. Eles também demonstraram que temperaturas extremas podem prejudicar a viabilidade pupal.

Em Jackson et al. (1998), as larvas de moscas-das-frutas puparam significativamente em maior profundidade na areia úmida do que na areia seca. Os autores identificaram a perda excessiva de água como uma importante fonte de mortalidade de pupas em *B. dorsalis* e *C. capitata*. Essa diferença pode ser atribuída aos vários gradientes de umidade utilizados nos trabalhos ou ao próprio meio de pupação, variando não apenas em tamanho de partícula, mas também em compactação. Eskafi e Fernandez (1990) relataram que *C. capitata* sofreu maior mortalidade larval-pupal em solos secos com alta densidade.

Houve uma variação no tempo de desenvolvimento pupal de acordo com os tratamentos, levantando a hipótese de uma relação da duração da fase pupal com o meio de pupação, destacando uma forte interação entre o tempo e as classes de solo, com um decréscimo de emergência menos acentuado do solo arenoso para o solo franco-argiloso e franco argiloarenoso. Milward-de-Azevedo e Parra (1989), ao trabalhar com *C. capitata* em um solo de classe arenosa, verificaram um encurtamento do período pupal com os solos mais úmidos, sendo que no argiloso a duração foi constante em todos os tratamentos, o que evidencia que a classe de solo combinada a umidade tem relação com o tempo de duração do período pupal. Para ambos os solos, há um período de emergência mais concentrado para as condições mais úmidas. No trabalho de Bento et al. (2010), para as larvas de *C. capitata* que deram origem a adultos machos, a duração do estágio pupal foi influenciada individualmente pela umidade e pelo tipo de solo, com uma redução na duração do estágio pupal em um solo argiloso pesado e em um solo argiloarenoso, com maior duração no solo argiloso.

Conclusão

As presentes descobertas servem como diretrizes gerais para prever quão profundamente as larvas podem pupar em campo. A metodologia elaborada para o presente trabalho se mostrou eficiente para trabalhos dessa natureza. Adicionalmente, ela pode ser utilizada em bioensaios que visem avaliar a efetividade do controle biológico com fungos entomopatogênicos, especialmente do gênero *Metarhizium* Sorokin, que segundo Silva et al. (2016) e Brito et. al. (2019), apresentaram eficácia no controle de imaturos e *B. carambolae*.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida a Ricardo Adaime.

Referências

- ADAIME, R. A., DE JESUS-BARROS, C. R., BARIANI, A., LIMA, A. L., CRUZ, K. R., & CARVALHO, J. P. 2016. Novos registros de hospedeiros da mosca-da-carambola (*Bactrocera carambolae*) no Estado do Amapá, Brasil. EmbrapaAmapá - ComunicadoTécnico.
- ALYOKHIN, A. V., C. MILLE, R. H. MESSINGAND, & J. J. DUAN. 2001. Selection of pupation habitats by oriental fruit fly larvae in the laboratory. *J Insect Bhav.* 14(1): 57-67.
- BARIANI, A., C. R. BARROS, J. P. CARVALHO, L. DE O. MOTA JÚNIOR, P. R. NASCIMENTO, K. R. CRUZ, & V. S. FACUNDES. Técnicas para criação da mosca-da-carambola (*Bactrocera carambolae* Drew & Hancock) em laboratório para pesquisa científica. Documentos, 97. Embrapa Amapá. Macapá. Amapá. Brasil.
- BENTO, F. D. M., MARQUES, R. N., COSTA, M. L. Z., WALDER, J. M. M., SILVA, A. P., & PARRA, J. R. P. 2010. Pupal development of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) and *Diachasmi morphalongicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) at different moisture values in four soil types. *Environ Entomol.* 39(4): 1315-1322.
- BRASIL. 2018. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução n° 6, de 23 de nov. de 2018. Diário oficial da união, Brasília, DF, Brasil.

- BRITO, B. D., LIMA, A. L., CRUZ, K. R., BARIANI, A., JESUS-BARROS, C. R., PEREIRA, J. F., & ADAIME, R. 2019. Amazonian Isolates of *Metarhizium* are Effective for Killing *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae). *Acta Biol Colomb.* 24(1): 118-124.
- BUCKMAN, H. O., & BRADY, N. C. 1974. Natureza e prioridades dos solos: compêndio universitário sobre edafologia. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1974. 594 p.
- COSTA, A. C. S. DA, NANNI, M. R., & JESKE, E. 2008. Determinação da umidade na capacidade de campo e ponto de murchamento permanente por diferentes metodologias. *Rev Unimar.* 19(3): 827-844.
- DIMOU, I., C. KOUTSIKOPOULOS, A. P. ECONOMOPOULOS, & J. LYKAKIS. 2003. Depth of pupation of the wild olive fruit fly, *Bactrocera (Dacus) oleae* (Gmel.) (Diptera, Tephritidae), as affected by soil abiotic factors. *J Appl Entomol.* 127(1): 12-17.
- ESKAFI, F.M. & A. FERNANDEZ. 1990. Larval-pupal mortality of mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) from interaction of soil, moisture, and temperature. *Environ Entomol.* v. 19: 1666-1670.
- GODOY, M. J., W. S. PACHECO, R. R. PORTAL, J. M. PIRES FILHO, & L. M. MORAES. 2011. Programa Nacional de Erradicação da Mosca-da-carambola. In *Moscas-das-frutas na Amazônia Brasileira: diversidade, hospedeiros e inimigos naturais.* (SILVA R. A, W. P. LEMOS, & R. A. ZUCCHI) Macapá: Embrapa Amapá, Amapá, Brasil. Pages 135-172
- HENNESSEY, M.K. 1994. Depth of pupation of caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in soils in the laboratory. *Environ Entomol.* v. 23: 1119-1123.
- HODGSON, P. J., SIVINSKI, J., QUINTERO, G., & ALUJA, M. (1998). Depth of pupation and survival of fruit fly (*Anastrepha* spp.: Tephritidae) pupae in a range of agricultural habitats. *Environ Entomol.* 27(6): 1310-1314.
- HULTHEN, A. D. & A. R. CLARKE. 2006. The influence of soil type and moisture on pupal survival of *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae). *Aust J Entomol.* 45: p. 16-19.
- JACKSON, C. J., J. P. LONGAND, & L. M. KLUNGNESS. 1998. Depth of pupation in four species of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in sand with and without moisture. *J Econ Entomol.* v. 91, n. 1: 138-142.
- MALAVASI, A. 2015. Mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock. In: *Pragas introduzidas no Brasil, insetos e ácaros.* (VILELA, E. F., R. A. ZUCCHI) FEALQ. Piracicaba, São Paulo, Brasil. Page 173-184.
- MALAVASI, A., & ZUCCHI, R. A. 2000. *Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado.* Ribeirão Preto: Holos.

- MILWARD-DE-AZEVEDO, E. M. V., & PARRA, J. R. P. Influência da umidade em dois tipos de solo, na emergência de *Ceratitis capitata*. *Pesqui Agropecu Bras.* 24.3 (1989): 321-327.
- MIRANDA, S. H., A. M. NASCIMENTO, & V. P. XIMENES. 2015. Potenciais impactos socioeconômicos da expansão da mosca-da-carambola. Page 114-132 (VILELA, E. F., R. A. ZUCCHI) FEALQ. Piracicaba, São Paulo, Brasil. Page 173-184.
- MONIZ, A. C. Elementos de pedologia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 1975. 459p.
- NIKIFOROFF, C. C. Morphological Classification of Soil Structure. 1941. *Soil Sci.*, 52:193–212.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- SALLES, L. A. B., & CARVALHO, F. L. C. Profundidade da localização da pupária de *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) em diferentes condições do solo. *An Soc Entomol Bras.* v.22, p.329-305, 1993.
- SALLES, L. A. B.; F. L. C. CARVALHO & C. R. JÚNIOR. 1995. Efeito da temperatura e umidade do solo sobre pupas e emergência de *Anastrepha fraterculus* (Wied.). *An Soc Entomol Bras.* 24(1):147-152.
- SILVA, T. DE LIMA, LIMA, A. L., DE SOUSA, M. D. S. M., DE JESUS-BARROS, C. R., BARIANI, A., PEREIRA, J. F., & ADAIME, R. 2016. Potential of Amazonian isolates of *Metarhizium* to control immatures of *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae). *Fl Entomol.* 99(4): 788-790.
- VEIHMEYER, F. J. & HENDRICKSON, A. H., 1931. The moisture equivalent as a measure of the Field capacity of soils. *Soil Sci.* 32:181-193.
- VEIHMEYER, F. J. & HENDRICKSON, A. H., 1949. Methods of measuring Field capacity and permanent wilting percentage of soils. *Soil Sci.* 68:75-95.

Anexo

Material Suplementar

Tabela A1. Resultados dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) usados para testar os efeitos do solo, umidade e profundidade sobre o número de pupas e também do solo, umidade e sobre o número de insetos emergentes usando aduração da fase de pupa (em dias) como covariável assumindo uma distribuição de Poisson.

a) Numberofpupae	Estimate	Standard Error	Z test	P
Intercept	1,938	0,088	22,126	0,000
SolosS2	-0,120	0,126	-0,951	0,342
solosS3	-0,331	0,128	-2,582	0,010
profundidade	-0,441	0,023	-18,975	0,000
umidade	-0,001	0,001	-0,421	0,674
solosS2:profundidade	0,057	0,032	1,781	0,075
solosS3:profundidade	0,151	0,030	4,967	0,000
solosS2:umidade	-0,001	0,002	-0,533	0,594
solosS3:umidade	-0,002	0,002	-0,944	0,345
b) Numberofemergents	Estimate	Standard Error	Z test	P
Intercept	1,837	0,147	12,453	0,000
solosS2	-1,297	0,207	-6,259	0,000
solosS3	-0,814	0,194	-4,191	0,000
sexomacho	0,323	0,158	2,036	0,042
umidade	0,002	0,002	0,806	0,420
tempo	-0,678	0,046	-14,838	0,000
solosS2:sexomacho	-0,310	0,160	-1,942	0,052
solosS3:sexomacho	-0,112	0,150	-0,747	0,455
solosS2:umidade	0,009	0,002	3,699	0,000
solosS3:umidade	0,006	0,002	2,931	0,003
solosS2:tempo	0,291	0,052	5,622	0,000
solosS3:tempo	0,183	0,052	3,542	0,000
sexomacho:umidade	0,000	0,002	0,046	0,963
sexomacho:tempo	0,020	0,042	0,478	0,633