



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE SISTEMÁTICA E ECOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ZOOLOGIA**

Helton Charllys Batista Cardoso

Efeito da predação de copépodos ciclopóides (Copepoda: Cyclopidae) sobre o tamanho do corpo, razão sexual e comportamento de ovoposição de *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)

Orientador: Dr. Luiz Carlos Serramo Lopez

João Pessoa, PB.

2012

Helton Charllys Batista Cardoso

Efeito da predação de copépodos ciclopóides (Copepoda: Cyclopidae) sobre o tamanho do corpo, razão sexual e comportamento de ovoposição de *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas. Área de concentração em Zoologia, sob a orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Serrano Lopez.

João Pessoa, PB

2012

C268e Cardôso, Helton Charllys Batista.
Efeito da predação de copépodos ciclopóides (Copepoda: Cyclopidae) sobre o tamanho do corpo, razão sexual e comportamento de ovoposição de *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) / Helton Charllys Batista Cardôso.- João Pessoa, 2012.
100f. : il.
Orientador: Luiz Carlos Serramo Lopez
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN
1. Zoologia. 2. Copépodos. 3. Razão sexual. 4. Predação.
5. Mosquito. 6. Mesocyclops.

UFPB/BC

CDU: 59(043)

Helton Charllys Batista Cardôso

Efeito da predação de copépodos ciclopóides (Copepoda: Cyclopidae) sobre o tamanho do corpo, razão sexual e comportamento de ovoposição de *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)

BANCA EXAMINADORA

Orientador:

Dr. Luiz Carlos Serramo Lopez
(Departamento de Sistemática e Ecologia-CCEN/UFPB)

Examinadores:

Dr. Alexandre Vasconcellos
(Departamento de Sistemática e Ecologia-CCEN/UFPB)

Dr. José Cezario de Almeida
(Departamento de Ciências da Vida-DCV/UFCG)

Dr. Marcio Bernardino da Silva
(Departamento de Sistemática e Ecologia-CCEN/UFPB)

Dr. Eduardo Barbosa Beserra
(Departamento de Biologia-NMIP/UEPB)

Data: ____ / ____ / ____

João Pessoa – PB

2010

Dedico este trabalho aos meus pais Anicete e José (Dedé) e aos meus irmãos Helton, Carla e Vitória por sempre compartilharem comigo o sonho de ser biólogo.

AGRADECIMENTOS

Quero aqui, agradecer a todos que direta e indiretamente contribuíram para que mais esta etapa em minha vida acadêmica pudesse ser cumprida. No entanto gostaria agradecer especialmente:

Ao meu orientador Prof. Luiz Carlos Serramo Lopez, por tornar possível a realização deste trabalho e por sempre tratar com entusiasmo os assuntos relacionados a este. Quero ainda, agradecer pela amizade, paciência e motivação nas horas de desânimo.

Aos meus eternos mestres Luiz Frederico Barbosa da Rocha e a Ana Maria Bignotto da Rocha que foram, sem dúvidas, meus pais, amigos e conselheiros nos últimos anos. A vocês, sinceramente, toda a minha gratidão, respeito e carinho.

Ao professor Dr. José Cezario de Almeida por todo o apoio, força e incentivo no desempenho das atividades acadêmicas e pelo exemplo de professor a ser seguido.

À Prof. Dr. Maria do Socorro Pereira por ter contribuído significativamente para a minha formação e em especial por ter me encorajado e ter estado comigo durante minha primeira visita ao Departamento de Sistemática e Ecologia (DSE), onde pela primeira vez conhecemos o Prof. Luiz.

A todos os meus familiares especialmente aos meus maiores exemplos de vida, meus amados avós: Geralda Ana e Geraldo e Raimundo e Altina por toda amizade, companheirismo, "cumplicidade" e pela confiança que depositam em mim.

A todos os meus amigos e colegas que fazem parte do DSE, pelas horas de alegria e descontração proporcionadas durante os momentos que estivemos juntos.

À Leonardo Leoncio Ribeiro por todo o auxílio prestado e pela identificação dos copépodos.

Aos meus queridos amigos: Thiago, Emmanúela (Manú), Lenice e Elma, não somente, por todo o apoio, companheirismo e trabalho de equipe no Laboratório de Ecologia de Comunidades (LECO), mas por terem sido minha família, meus amigos, meus IRMÃOS.

Aos meus IRMÃOS de longa data: Fernanda Maria, Anna Cristina, Guilherme, Weliton, Alberto, Maria José, Maria Francisca, Luziana, Rosy, Adriana, Luís (Issalo), Tatia Mirelle, Ana Paula, Jessica Nayara, Iris Lívia, Raquel, Sandra Gabriel, Elisângela, Elizabete, Diana, Lucas, Stephany, Alexandra, Jonathan, Yuri e todos os outros que sempre acreditaram e torceram por mim.

Ao meu amigo Ercules, pelo apoio e companheirismo nas "*incessantes batalhas*" travadas pela EAD, onde apesar das dificuldades, continuamos acreditando que somente com educação seremos capazes de mudar o mundo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

E finalmente, agradeço a Deus, minha fonte inesgotável de força.

*“A compaixão pelos animais
está intimamente ligada a bondade de caráter,
e quem é cruel com os animais
não pode ser um bom homem”.*

(Arthur Schopenhauer)

|

SUMÁRIO

SUMÁRIO	9
LISTA DE FIGURAS	11
INTRODUÇÃO	13
CAPITULO I	34
Resumo	35
Abstract	36
1. Introdução	37
2. Objetivos	39
2.1. Objetivo Geral	39
2.2. Objetivos específicos	39
3. Materiais e Métodos	40
4. Resultados	41
5. Discussão	46
6. Referências Bibliográficas	48
CAPITULO II	52
Resumo	53
Abstract	54
2. Objetivos	57
2.1. Objetivo geral	57
2.2. Objetivos específicos	57
4. Resultados	59
5. Discussão	65
6. Referências Bibliográficas	68
CAPITULO III	72
Resumo	73
Abstract	74
1. Introdução	75
2. Objetivos	77

2.1. Objetivo geral	77
2.2. Objetivos específicos	77
3. Materiais e métodos	78
4. Resultados.....	79
5. Discussão.....	83
6. Referências Bibliográficas.....	85
DISCUSSÃO GERAL	89
Discussão Geral.....	90
CONCLUSÕES.....	96
Conclusões	97
APÊNDICE	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Densidade média (\pm EP) de larvas de <i>Aedes albopictus</i> por litro durante o experimento nos recipientes contendo copépodos (triângulos, N=10) e nos recipientes controles (quadrados, N=10).	42
Figura 2: Variação da densidade <i>M.ogunnus</i> por litro (\pm EP) ao longo das cinco semanas de experimento (n=10).	42
Figura 3: Média do número de ovos (\pm EP) presentes nos recipientes controles e nos recipientes contendo <i>M.ogunnus</i> no final do experimento.	43
Figura 4: Variação temporal na razão sexual de <i>Aedes albopictus</i> que emergiram de recipientes com copépodos (triângulos) em relação ao controle (quadrados).	44
Figura 5: Média do comprimento de asas de <i>Ae. albopictus</i> (\pm EP) que emergiram de recipientes contendo o copépodo <i>M. ogunnus</i> comparada à dos mosquitos que emergiram de recipientes sem copépodos.	45
Figura 6: Densidade média (\pm EP) de larvas de <i>Aedes albopictus</i> por litro durante o experimento. Tratamentos contendo <i>M. brasilianus</i> (triângulo, n=10) mantiveram as menores densidades larvais ao longo das cinco semanas de experimento em comparação ao <i>T. tenuis</i> (círculos, n=10); estando as maiores densidade concentradas nos recipientes controles (quadrados, n=10).	60
Figura 7: Média do número de ovos de <i>Aedes albopictus</i> entre os tratamentos. O resultado do teste de Tukey apontou diferenças significativas entre todos os tratamentos.	60
Figura 8: Percentual da variação na proporção de fêmeas por machos de <i>Aedes albopictus</i> emergidos do controle (quadrado, n=10) e daqueles emergidos dos tratamentos contendo <i>M. brasilianus</i> (triângulo, n=10) e <i>T. tenuis</i> (círculo, n=10).	61
Figura 9: Diferenças entre as médias de tamanho do corpo (\pm EP) entre as duas espécies de copépodos analisadas.	62
Figura 10: Variação da densidade média (\pm EP) de copépodos por litro. <i>M. brasilianus</i> (quadrados, n=10) apresentou densidades bem mais elevadas em comparação ao <i>T. tenuis</i> (triângulos, n=10).	62
Figura 11: Regressões lineares entre as densidades totais de copépodos e as densidades totais de larvas. (A) regressão linear para as densidades de <i>Termocyclops tenuis</i> . (B) regressão linear para <i>Mesocyclopsbrasilianus</i>	63

Figura 12: Média do tamanho do corpo de <i>Aedes albopictus</i> estimada a partir do comprimento alar. Tratamentos marcados pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).	64
Figura 13: Média do tamanho do corpo de mosquitos estimada a partir do comprimento alar. Tratamentos marcados pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).	65
Figura 14: Fêmea de <i>M. ogunnus</i> com dois sacos ovíferos. Foto: C. Liberal.	76
Figura 15: Distribuição geográfica de <i>M. ogunnus</i> no brasil. As áreas sombreadas representam relatos das espécies de acordo com dados da literatura. A área expandida representa o local onde foi efetuado novo registro da espécie na região nordeste do país (João Pessoa, Estado da Paraíba).	79
Figura 16: (A - B) Detalhe dos ramos caudais, (D - C) Detalhes do receptáculo seminal.....	80
Figura 17: Modelo de preditivo para a distribuição geográfica do <i>M. ogunnus</i> no brasil. as áreas em vermelho representam áreas de maior probabilidade de ocorrência. As áreas amarelas representam uma menor probabilidade de ocorrência, enquanto que áreas verdes indicam uma probabilidade praticamente nula de ocorrência do <i>M. ogunnus</i> . Os pontos destacados em azul representam os registros de ocorrência da espécie.	81
Figura 18: Modelo de distribuição do <i>M. ogunnus</i> com base nos limites geográficos das Bacias Hidrográficas do: Rio Paraná (azul), Rio São Francisco (preto) e Atlântico sul (verde).	82

INTRODUÇÃO

1. Introdução

1.1. Uso de copépodos ciclopoídes como controladores biológicos

Nos últimos anos, alguns dos principais estudos relacionados ao controle biológico de mosquitos têm demonstrado a eficiência de microcrustáceos (Copepoda: Cyclopidae) no controle biológico de larvas de mosquitos dos gêneros *Aedes*, *Culex*, *Anopheles* (Gionar et al. 2006; Marten et al. 1994; Marten et al. 1994; Pernía et al. 2007). O uso de tais agentes biológicos tem se mostrado uma medida promissora em programas de controle e erradicação de mosquitos responsáveis pela transmissão de arboviroses de maior importância à saúde pública, como a dengue e a febre amarela (Gomes et al. 1999; Gratz 2004; Moore & Mitchell 1997; Tsunoda et al. 2010).

Os primeiros estudos a retratarem a eficiência de copépodos ciclopoídes, em especial os do gênero *Mesocyclops*, como potenciais predadores de larvas de mosquitos foram realizados a aproximadamente 30 anos atrás com o trabalho de Riviere et al. (1987). Desde então, vários estudos têm sido realizados em laboratório (Micieli et al. 2002; Panogadia-Reyes et al. 2004) e em campo (Gionar et al. 2006), no intuito de demonstrar quais espécies de copépodos atuam de forma mais eficiente no controle de larvas deesses mosquitos.

Alguns dos principais trabalhos em campo foram realizados no Tahiti (Rivière et al. 1987), na Polinésia Francesa (Lardeux et al. 1992), Norte e Nordeste de Queensland, Austrália (Kay et al. 2000) e na Colômbia (Suarez-Rubio & Suarez 2004). Estes trabalhos trouxeram importantes contribuições acerca do efeito da predação de copépodos sobre as populações locais de mosquitos. No entanto, o primeiro trabalho a relatar a erradicação de mosquitos utilizando copépodos, como controladores biológicos foi realizado em Nova Orleans (EAU) (Marten 1990). Alguns anos mais tarde, populações locais de *Aedes aegypti* foram erradicadas no norte do Vietnã (Nam et al. 1998) e no Vietnã Central (Nam et al. 2005), a partir do uso de microcrustáceos do gênero *Mesocyclops* em recipientes artificiais e em reservatórios de água para uso doméstico.

No Brasil, o uso de copépodos ciclopoídes como controladores biológicos têm avaliado a sobrevivência e o potencial de predação de algumas espécies de copépodos (Santos & Andrade 1997). Santos *et al.* (1996) demonstram a partir de dois bioensaios de campo que o copépodo *M. longisetus* apresenta uma das maiores taxas de predação, sendo capaz de

reduzir consideravelmente o número de larvas nos recipientes artificiais, apresentando uma eficiência média entre 97,5% e 98,1%. Santos & Andrade (1997) demonstram ainda que a eficiência do *M. longisetus* não difere significativamente entre experimentos realizados em campo ou em laboratório.

Estudos laboratoriais realizados com *Mesocyclops annulatus*, para testar a capacidade de predação desta espécie sobre larvas de *Ae. aegypti* e *Culex pipiens*, demonstraram que uma única fêmea desta espécie é capaz de predar pouco mais de 50% das larvas em estágios iniciais em apenas 72 horas e ainda que as maiores taxas de mortalidade para *Ae. aegypti* foram observadas quando as duas espécies de larvas estiveram juntas (Micieli et al. 2002). Rey et al. (2004), observaram que a sobrevivência de larvas de *Ae. albopictus* e *Ae. aegypti* foi de 92,2% em recipientes controles e de 29,8% em recipientes contendo *Macrocyclus albidus*. A média de sobrevivência das larvas em função do tamanho variou de 80% (últimos instares larvais) a 0 % de sobrevivência (larvas recém-eclodidas). No Vietnã trabalhos realizados em laboratório, mostraram que *Mesocyclops aspericornis* consumiram uma média de 23,75 L1 (primeiro ínstar larval) e mataram uma média de 13 L1, ou um total de 37L1 no prazo de 24 horas (Lardeux et al. 1992). Panogadia-Reyes et al. (2004) demonstraram que *M. ogunnus*, consomem em média 8 L1 e matam uma média de 7 L1 ou um total de 16 L1 no prazo de 24 horas.

A utilização de *Mesocyclops* sp, em programas de controle biológico de larvas de mosquitos apresentam algumas vantagens em comparação ao uso de outros agentes de controle biológico. Características biológicas como: (1) alta capacidade reprodutiva, (2) dieta ampla - (incluindo fitoplâncton, protozoários e pequenos animais) e (3) capacidade de sobreviver em recipientes de uso diário; permitem a estes organismos estabelecer suas populações independentes das populações de larvas dos mosquitos, além de manter suas taxas reprodutivas elevadas "*in situ*"; e conseqüentemente, apresentar um efeito prolongado, como agentes de controle biológico (Nam et al. 1998; Nam et al. 2005).

Apesar de conclusivos, em relação a eficiência na redução das densidades larvais, nenhum dos trabalhos já citados teve por objetivo avaliar o efeito da predação sobre os mosquitos adultos que emergem de recipientes contendo copépodos. De acordo com Sih *et al.* (1985), a predação atua não somente na redução do número de indivíduos, mas também modificando a estrutura populacional das presas. Desse modo, investigar a influência da predação de copépodos ciclopóides, mostra-se de fundamental importância, não somente do

ponto de vista de redução de larvas, mas também sob o ponto de vista de algumas das principais características ecológicas e ainda comportamentais de *Ae. albopictus*.

1.2. *Aedes albopictus*

O *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1894), também conhecido como “Tigre Asiático” é uma espécie invasora originária de florestas do sudeste da Ásia (Britoa & Forattini 2004; Roiz et al. 2011) e tem sido apontada como um vetor em potencial para a disseminação não somente da dengue e da febre amarela, mas também de várias outras arboviroses (Moore & Mitchell 1997). De acordo com Forattini (1986), este mosquito pertencente à família Culicidae, apresenta um menor grau de exofilia e menor nível de domiciliação, apresentando hábitos antropofílicos e zoofilia pouco acentuada em comparação ao *Ae. aegypti* (Silva et al. 2009).

O primeiro registro do *Ae. albopictus* nas Américas foi realizado nos Estados Unidos, no Condado de Harris, Estado do Texas em 1985 (Gratz 2004; Moore & Mitchell 1997). Hipóteses acerca da recente invasão no *Ae. albopictus* nas Américas têm apontado o transporte de pneus usados do Norte da Ásia como principal meio de introdução desta espécie nos Estados Unidos (Eads 1972; Moore & Mitchell 1997; Sprenger & Wuithiranyagool 1986). Desde então, a espécie tem se dispersado rapidamente por diversos países das Américas (Borges 2001).

O primeiro registro desta espécie para o Brasil foi realizado por Forattini (1986), no município de Itaguaí, Rio de Janeiro e em seguida no Estado de São Paulo (Brito et al. 1986). É possível que este mosquito tenha sido introduzido no Brasil através do Porto de Ubú, Espírito Santo (Sant'Ana 1996). Apesar da falta de evidências que comprovem a origem das populações de *Ae. albopictus*, que invadiram o Brasil; estudos genéticos têm constatado que as populações de *Ae. albopictus* encontradas no Brasil e nos Estados Unidos são originárias do Japão (Kambhampati et al. 1991; Usmani-Brown et al. 2009).

Desde seu primeiro registro, o *Ae. albopictus* tem apresentado uma ampla distribuição geográfica no território nacional (Martins et al. 2010). Em 1998, apenas dois anos após seu primeiro registro de ocorrência, a espécie já havia sido encontrada em 1.465 municípios de 13 estados do Brasil (Silva et al. 2009). Em 2003, o *Ae. albopictus* já havia sido registrado em quase todos os Estados brasileiros com exceção dos Estados do: Amapá,

Roraima, Acre, Tocantins (região Norte) e Piauí, Ceará e Sergipe (região Nordeste) (Santos 2003).

Atualmente, com a confirmação de novos registros realizados; até o ano de 2008, para os Estados do: Ceará, Tocantins e Roraima (Aguiar et al. 2008; Balestra et al. 2008; Martins et al. 2010); apenas 4 dos 27 Estados do Brasil ainda não apresentam registro para esta espécie. A rápida expansão do *Ae. albopictus* em um curto período de tempo tem gerado várias preocupações acerca de seu potencial como transmissor do vírus da dengue (Moore & Mitchell 1997).

Apesar de ser considerado um vetor em potencial, o papel do *Ae. albopictus* como transmissor da dengue nas Américas ainda não foi confirmado. De acordo com Forattini (2002), surtos de dengue atribuídos ao *Ae. albopictus* podem ser considerados, “pouco expressivos do ponto de vista epidemiológico”. No entanto, vários experimentos têm demonstrado a importância desse mosquito como vetor potencial de 23 arboviroses, incluindo os 4 sorotipos do vírus da dengue (Gratz 2004; Moore & Mitchell 1997). O isolamento do sorotipo 1 do vírus da dengue por Serufo et al. (1993); a partir de larvas de *Ae. albopictus* em Campos Altos, Minas Gerais; tem sido uma forte evidência de que esta espécie pode contribuir na disseminação do vírus da dengue. O *Ae. albopictus* também pode atuar como um vetor eficiente de outros patógenos como a *Dirofilaria immitis*, causadora da dirofilariose canina (Lai et al. 2000), aumentando assim a importância desta espécie como transmissor de outras doenças.

Apesar de ser considerada uma espécie de hábitos silvestres o *Ae. albopictus* apresenta grande capacidade para colonizar áreas urbanas e suburbanas, podendo utilizar ecótopos naturais e artificiais (Britoa & Forattinib 2004; Forattini et al. 1998; Forattini et al. 1998), competindo, assim, com o *Ae. aegypti*. Mesmo podendo coexistir em um mesmo ambiente natural; estudos têm demonstrado que *Ae. albopictus* é superior ao *Ae. aegypti* em competição (Juliano et al. 2004; Mogi et al. 1988). Resultados de trabalhos sobre a competição intraespecífica têm demonstrado que o *Ae. albopictus* é capaz de manter altas densidades populacionais mesmo quando os recursos são escassos (Braks et al. 2004). Tal característica pode conferir a este invasor uma vantagem adicional sobre espécies locais durante eventos de invasão. Honório & Lourenço-de-Oliveira (2001) observaram, a partir de estudos em campo, a predominância de *Ae. albopictus* sobre *Ae. aegypti* em pneus utilizados como armadilhas.

O aparecimento de *Aedes* em áreas geográficas específicas sugere que fatores ambientais possam afetar o resultado de sua ocorrência (Juliano *et al.* 2002). De acordo com Juliano *et al.* (2004) a invasão do “Tigre Asiático” (*Ae. albopictus*) nas Américas, oferece um cenário ideal para que possam ser realizados estudos que visem o melhor entendimento dos principais fatores e/ou processos que favorecem a disseminação dessa espécie em um ambiente.

1.3 Traços da história de vida: importâncias ecológicas e epidemiológicas

1.3.1. Comportamento de Ovoposição

A seleção de sítios para a ovoposição representa fator crítico para a sobrevivência e dinâmica populacional de várias espécies, além de ter implicações importantes sobre medidas de controle de mosquitos (Bentley & Day 1989; Serpa *et al.* 2008). Tal aspecto do comportamento de mosquitos tem recebido grande atenção, visto que, o modo como um animal se comporta e interage no ambiente natural pode nos dizer muito sobre seu sucesso reprodutivo (Serpa *et al.* 2008).

Em vários estudos, fêmeas de mosquitos do gênero *Aedes* demonstraram ser capazes de seguir várias pistas encontradas no ambiente durante a escolha do substrato para ovoposição (Bentley & Day 1989). Fatores ambientais, como a presença de outros organismos no ambiente, a quantidade de matéria orgânica, ou ainda a presença de parasitos ou predadores tem sido os fatores mais selecionados por fêmeas de *Aedes* para a ovoposição (Arav & Blaustein 2006; Mokany & Shine 2003; Pamplona *et al.* 2009; Stoops 2005; Torres-Estrada *et al.* 2007; Torres-Estrada *et al.* 2001). Em resumo, pistas químicas e visuais, além de outros fatores ambientais são importantes regras de mediação para a escolha de locais para a ovoposição por fêmeas de mosquitos (Ganesan *et al.* 2006; Hwang *et al.* 1980; Mboera *et al.* 2000).

Segundo Bentley & Day (1989), fêmeas de *Aedes aegypti* podem seguir principalmente pistas químicas na escolha de substratos para a ovoposição. Este comportamento peculiar de mosquitos do gênero *Aedes*, na escolha de ambientes para ovoposição, mostra-se um aspecto importante para a criação de medidas de controle e erradicação de mosquitos vetores e tem sido intensamente investigado no intuito de determinar quais os principais fatores que exercem ação atrativa ou repelente para fêmeas grávidas de mosquitos.

Torres-Estrata et al. (2001) encontrou em seus experimentos um maior número de ovos em recipientes contendo *Mesocyclops longisetus* e ainda mais elevados para recipientes onde copépodos haviam estado presentes, por um período de 24 horas. Torres-Estrada et al. (2001) discutem ainda que o maior número de ovos de *Ae. aegypti* encontrados em recipientes onde copépodos estiveram presentes indica que, neste caso, a seleção não resulta de uma orientação visual, mas seria resultante da presença de compostos como monoterpenos e sesquiterpenos encontrados em recipientes contendo copépodos.

Trabalhos realizados por Rodríguez Rodríguez (2007), também encontraram um maior número de ovos em tratamentos contendo *Macrocyclus albidus*, muito embora as diferenças observadas não tenham sido significativas. Neste mesmo trabalho o resultado para o Índice de Atividade de Ovoposição (IAO) demonstrou que fêmeas de *Ae. aegypti* não evitaram ovopositar em recipientes contendo o copépodos o que de certo modo representa um fator favorável para o uso destes agentes como controladores biológicos de larvas.

Em seu estudo sobre a influência da água de criação larvas, Serpa et al. (2008) observaram que tratamentos contendo larvas de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* foram atrativos para fêmeas de *Ae. aegypti*, indicando que a presença de larvas coespecíficas podem influenciar na escolha de sítios de ovoposição. Resultados semelhantes foram encontrados para *Ae. albopictus* em trabalhos realizados por Barbosa & Silva (2002) e Trexler et al. (2003). Esse efeito parece ser resultante não somente da presença de larvas, mas também das pupas, conforme demonstrado por Marques & Miranda (1992). Apesar de exercer um efeito atrativo sobre fêmeas grávidas, a densidade larval também pode afetar negativamente a escolha de ambientes para a ovoposição (Bentley & Day 1989).

Os problemas ecológicos associados aos fatores que favorecem as invasões biológicas, representam fortes justificativas para o estudo do comportamento de mosquitos vetores, no intuito de determinar que mecanismos comportamentais contribuem para o sucesso da invasão. O comportamento de espécies invasoras também se mostra relevante para a investigação básica do comportamento (Holway & Suarez 1999), como por exemplo, a recente introdução de *Ae. albopictus* em os outros países, representa uma consequência direta do comportamento exibido por esta espécie (Bentley & Day 1989; Yee *et al.* 2004; Yee *et al.* 2007).

1.3.2. Tamanho do corpo

O tamanho do corpo mostra-se um aspecto importante em estudos ecológicos e epidemiológicos de várias espécies de mosquitos vetores. Vários trabalhos tem demonstrado que tal característica está relacionada não somente a traços da historia de vida como: taxa de sobrevivência e fecundidade (Armbruster & Hutchinson 2002; Blackmore & Lord 2000; Lounibos et al. 1995; Ponlawat & Harrington 2007), longividade (Briegel et al. 2001), número de ovos por postura (Beserra et al. 2009; Gama et al. 2005), mas também está relacionada a maior probabilidade de infecção e maior capacidade vetorial (Alto et al. 2008).

Fatores ecológicos como a quantidade de recursos e a competição inter e intraespecífica entre espécies de mosquitos são alguns dos fatores que mais influenciam o tamanho do corpo de espécies de mosquitos. Em estudos laboratoriais sobre efeitos da densidade sobre vários traços da história de vida de *Ae. aegypti*; Beserra et al. (2009) demonstraram que o comprimento alar de *Ae. aegypti* estabelece uma relação negativa com a densidade larval, principalmente quando os recursos alimentares são escassos. Um efeito semelhante também foi encontrado por Agnew et al. (2000), em estudos sobre efeito da densidade em *Culex pipiens quinquefasciatus*.

Ainda sobre o efeito da densidade dependente, estudos realizados por Briegel et al. (2001) encontraram relações positivas entre o tamanho do corpo e as taxas de sobrevivência em *Ae. aegypti*, onde pode-se observar que a competição em densidade elevadas retardou o tempo de desenvolvimento de mosquitos (Alto et al. 2005), além de produzir adultos menores, menos férteis e com baixo desempenho de voo (Alto et al. 2005; Blackmore & Lord 2000). Tsunoda et al. (2010) demonstraram experimentalmente em laboratório, que fêmeas de *Ae. aegypti* alimentadas com açúcar, não somente, apresentaram tamanho de corpo maior, mas também ovopositaram um maior número de ovos por posturas. Também foi possível observar que fêmeas maiores visitaram significativamente mais locais de ovoposição do que fêmeas menores.

De acordo com Alto et al. (2008) a susceptibilidade de infecção, assim como, a maior a capacidade de disseminação do vírus da dengue também podem ser alteradas pelo tamanho do corpo em mosquitos do gênero *Aedes*. Segundo, Alto et al. (2008) a probabilidade de infecção e a competencia vetorial não são as mesmas para *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*. Alto et al. (2008), discutem ainda as diferentes consequências do tamanho do corpo para o *Ae. albopictus* que apresentou-se mais susceptível a infecção e menos apto a disseminação em

comparação ao *Ae. aegypti* que mostrou-se menos susceptível a infecção e mais apto a disseminação da dengue.

Em muitos estudos o tamanho do corpo de mosquitos tem se mostrado um parâmetro importante para avaliar, não somente características ecológicas, mas também para prever os efeitos do tamanho do corpo para algumas questões de ordem epidemiológica como a capacidade vetorial e o potencial de disseminação de doenças. Sendo portanto, um aspecto importante a ser considerado em estudos ecológicos sobre o controle biológico.

1.3.3. Razão sexual

Alterações na razão sexual em função de predação seletiva ou diferenciada, têm sido observadas em diversos táxons, como por exemplo, em: Insecta (Acharya 1995), Squamata (lagartos) (Costantini et al. 2007), Homoptera (Gwynne 1987) e Isopoda (Jormalainen et al. 1995). Em todos estes trabalhos, as alterações sexuais causadas pela predação, são muitas vezes resultante do dimorfismo sexual ou de comportamentos diferenciados exibidos por machos e fêmeas.

Desse modo, o dimorfismo sexual observado em várias espécies de mosquitos, a exemplo dos diferentes tamanhos apresentados por machos e fêmeas (Devicari et al. 2011), ou ainda, diferenças comportamentais, morfológicas e até fisiológicas entre machos e fêmeas; podem de certo modo alterar as razões de predação sobre os sexos (Alto et al. 2005; Stav et al. 2005). Alterações na razão sexual para *Ae. albopictus* em função da predação foram demonstradas em trabalhos experimentais onde larvas de *Toxorhynchites rutilus* e *Corethrella appendiculata* foram utilizadas como predadores. Os resultados apontaram uma alteração na razão sexual de *Ae. albopictus* onde machos foram favorecidos pela presença dos predadores (Alto et al. 2005). No entanto, nenhum trabalho tem registrado alterações na razão sexual de mosquitos em função da predação de copépodos.

Durante um experimento relacionando efeitos da água de esgoto, densidade dependente e características fenotípicas da espécie, Chaves et al. (2011) observaram uma alteração sobre a razão sexual de *Culex quinquefasciatus* demonstrando uma inclinação para fêmeas em densidades larvais elevadas. Beserra et al. (2009) também observaram em seus experimentos razões sexuais inferiores a 0,5 favorecendo o surgimento de fêmeas em tratamentos com 200 larvas/litro onde foram ofertados 100 mg de ração.

É preciso ressaltar a importância das razões sexuais em estudos ecológicos e epidemiológicos, pois as consequências do *fitness* não são as mesmas para machos e fêmeas, visto que ambos os sexos apresentam diferentes necessidades ecológicas e seguem diferentes modos de vida (Lande 1980). Bedhomme et al. (2003) demonstraram que o tempo de desenvolvimento é mais importante para machos, enquanto o tamanho do corpo é mais importante para fêmeas. Além do mais são as fêmeas que se alimentam de sangue, atuando desse modo na transmissão de doenças.

Distorções na razão sexual, produzidas por meio de técnicas de engenharia genética, também tem se mostrado uma forma eficaz em programas de controle de insetos vetores. Diversos trabalhos que têm por objetivo controlar populações de mosquitos por meio de manipulações genéticas (Fu et al. 2010; Schliekelman et al. 2005), ou por técnicas de esterilidade de insetos (Alphey et al. 2010), tem sido amplamente exploradas. O uso de tais técnicas tem mostrado resultados promissores, reduzindo a frequência de genes que determinam o carácter feminino, ou ainda reduzindo as chance de encontros para acasalamento entre os machos e fêmeas.

2. Referências bibliográficas

- Acharya, L., 1995. Sex-biased predation on moths by insectivorous bats. *Animal behaviour* 49(6):1461-1468.
- Agnew, P., C. Haussy & Y. Michalakis, 2000. Effects of density and larval competition on selected life history traits of *Culex pipiens quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology* 37(5):732-735.
- Aguiar, D. B., A. Fontão, P. Rufino, V. A. Macedo, C. M. Ríos-Velásquez, M. G. Castro & N. A. Honório, 2008. Primeiro registro de *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) em Roraima, Brasil. *Acta Amazonica* 38(2):357-360.
- Alphey, L., M. Benedict, R. Bellini, G. G. Clark, D. A. Dame, M. W. Service & S. L. Dobson, 2010. Sterile-insect methods for control of mosquito-borne diseases: An analysis. *Vector-borne and zoonotic diseases* 10(3):295-311.
- Alto, B., M. Griswold & L. Lounibos, 2005. Habitat complexity and sex-dependent predation of mosquito larvae in containers. *Oecologia* 146(2):300-310.
- Alto, B. W., M. W. Griswold & L. P. Lounibos, 2005. Habitat complexity and sex-dependent predation of mosquito larvae in containers. *Oecologia* 146(2):300-310.
- Alto, B. W., M. H. Reiskind & L. P. Lounibos, 2008. Size alters susceptibility of vectors to dengue virus infection and dissemination. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 79(5):688-695.
- Arav, D. & L. Blaustein, 2006. Effects of pool depth and risk of predation on oviposition habitat selection by temporary pool dipterans. *Journal of medical entomology* 43(3):493-497.
- Armbruster, P. & R. A. Hutchinson, 2002. Pupal mass and wing length as indicators of fecundity in *Aedes albopictus* and *Aedes geniculatus* (diptera: culicidae). *Journal of medical entomology* 39(4):699-704.

- Balestra, R. A. M., R. K. O. Pereira, M. J. S. Ribeiro, J. S. Silva & J. Alencar, 2008. Occurrence of *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) in urban area of Tocantins state, Brazil. *Neotropical Entomology* 37(2):233-235.
- Barbosa, A. A. & M. Silva, 2002. Preferência por local de oviposição de *Aedes albopictus* (Skuse)(Diptera, Culicidae), em relação à presença de imaturos da própria espécie, sob condições de laboratório. *Revista Brasileira Zoologia* 19:1147-1152.
- Bedhomme, S., P. Agnew, C. Sidobre & Y. Michalakis, 2003. Sex-specific reaction norms to intraspecific larval competition in the mosquito *Aedes aegypti*. *Journal of Evolutionary Biology* 16(4):721-730.
- Bentley, M. D. & J. F. Day, 1989. Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. *Annual Review of Entomology* 34(1):401-421.
- Beserra, E. B., C. R. M. Fernandes & P. S. Ribeiro, 2009. Relação entre densidade larval e ciclo de vida, tamanho e fecundidade de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) em laboratório. *Neotropical Entomology* 38:847-852.
- Blackmore, M. S. & C. C. Lord, 2000. The relationship between size and fecundity in *Aedes albopictus*. *Journal of vector ecology* 25:212-217.
- Borges, S. M. A. A., 2001. Importância epidemiológica do *Aedes albopictus* nas Américas. Universidade de Sao Paulo. Faculdade de Saude Publica. *Departamento de Epidemiologia, Sao Paulo*.
- Braks, M. A. H., N. Honório, L. Lounibos, R. Lourenço-de-Oliveira & S. Juliano, 2004. Interspecific competition between two invasive species of container mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae), in Brazil. *Annals of the Entomological Society of America* 97(1):130-139.
- Briegel, H., I. Knusel & S. E. Timmermann, 2001. *Aedes aegypti*: size, reserves, survival, and flight potential. *Journal of vector ecology* 26:21-31.

- Brito, M., G. R. A. M. Marques, C. C. A. Marques & R. M. Tubaki, 1986. Primeiro encontro de *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) no Estado de São Paulo (Brasil). *Revista de Saúde Pública* 20(6):489-489.
- Brito, M. d. & O. P. Forattini, 2004. Produtividade de criadouros de *Aedes albopictus* no Vale do Paraíba, SP, Brasil. *Rev Saúde Pública* 38(2):209-15.
- Chaves, L., C. Keogh, A. Nguyen, G. Decker, G. Vazquez-Prokopec & U. Kitron, 2011. Combined sewage overflow accelerates immature development and increases body size in the urban mosquito *Culex quinquefasciatus*. *Journal of Applied Entomology* 135(8):611-620.
- Costantini, D., E. Bruner, A. Fanfani & G. Dell’Omo, 2007. Male-biased predation of western green lizards by Eurasian kestrels. *Naturwissenschaften* 94(12):1015-1020.
- Devicari, M., A. R. Lopes & L. Suesdek, 2011. Dimorfismo sexual alar em *Aedes scapularis* (Diptera: Culicidae). *Biota Neotropica* 11:165-169.
- Eads, R. B., 1972. Recovery of *Aedes albopictus* from used tires shipped to United States ports. *Journal Article* 32(1):113-114.
- Forattini, O. P., 1986. *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) identification in Brazil. *Revista de Saúde Pública* 20(3):244-245.
- Forattini, O. P., 2002. *Culicidologia médica*, vol 2. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. 464-470.
- Forattini, O. P., G. Marques, I. Kakitani, M. Brito & M. Sallum, 1998. Significado epidemiológico dos criadouros de *Aedes albopictus* em bromélias. *Rev Saúde Pública* 32(2):186-188.
- Forattini, O. P., G. R. A. M. Marques, M. Brito & M. A. M. Sallum, 1998. An unusual ground larval habitat of *Aedes albopictus*. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo* 40(2):121-122.

- Fu, G., R. S. Lees, D. Nimmo, D. Aw, L. Jin, P. Gray, T. U. Berendonk, H. White-Cooper, S. Scaife & H. K. Phuc, 2010. Female-specific flightless phenotype for mosquito control. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(10):4550-4554.
- Gama, R. A., K. Alves, R. F. Martins, A. Eiras & M. Resende, 2005. Efeito da densidade larval no tamanho de adultos de *Aedes aegypti* criados em condições de laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 34:64-66.
- Ganesan, K., M. J. Mendki, M. V. S. Suryanarayana, S. Prakash & R. C. Malhotra, 2006. Studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) ovipositional responses to newly identified semiochemicals from conspecific eggs. *Australian Journal of entomology* 45(1):75-80.
- Gionar, Y. R., S. Atmosoedjono & M. J. Bangs, 2006. *Mesocyclops brevisetosus* (Cyclopoida: Cyclopoidae) as a potential biological control agent against mosquito larvae in Indonesia. *Journal of the American Mosquito Control Association* 22(3):437-443.
- Gomes, A. C. d., M. D. Bitencourt, D. Natal, P. L. S. Pinto, L. F. Mucci, M. B. de Paula, P. R. Urbinatti & J. M. S. Barata, 1999. *Aedes albopictus* em área rural do Brasil e implicações na transmissão de febre amarela silvestre. *Rev Saúde Pública* 33(1):95-7.
- Gratz, N., 2004. Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Medical and Veterinary Entomology* 18(3):215-227.
- Gwynne, D. T., 1987. Sex-biased predation and the risky mate-locating behaviour of male tick-tock cicadas (Homoptera: Cicadidae). *Animal behaviour* 35(2):571-576.
- Holway, D. A. & A. V. Suarez, 1999. Animal behavior: an essential component of invasion biology. *Trends in Ecology & Evolution* 14(8):328-330.
- Honório, N. A. & R. Lourenço-de-Oliveira, 2001. Frequência de larvas e pupas de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* em armadilhas, Brasil. *Revista de Saúde Pública* 35(4):385-391.

- Hwang, Y. S., W. L. Kramer & M. S. Mulla, 1980. Oviposition attractants and repellents of mosquitoes. *Journal of Chemical Ecology* 6(1):71-80.
- Jormalainen, V., S. Merilaita & J. Tuomi, 1995. Differential predation on sexes affects colour polymorphism of the isopod *Idotea baltica* (Pallas). *Biological Journal of the Linnean Society* 55(1):45-68.
- Juliano, S. A., L. P. Lounibos & G. F. O'Meara, 2004. A field test for competitive effects of *Aedes albopictus* on *Ae. aegypti* in South Florida: differences between sites of coexistence and exclusion? *Oecologia* 139(4):583-593.
- Juliano, S. A., G. F. O'Meara, J. R. Morrill & M. M. Cutwa, 2002. Desiccation and thermal tolerance of eggs and the coexistence of competing mosquitoes. *Oecologia* 130(3):458-469.
- Kambhampati, S., W. C. Black & K. S. Rai, 1991. Geographic origin of the US and Brazilian *Aedes albopictus* inferred from allozyme analysis. *Heredity* 67(1):85-93.
- Kay, B., P. Ryan, B. Russell, J. Holt, S. Lyons & P. Foley, 2000. The importance of subterranean mosquito habitat to arbovirus vector control strategies in north Queensland, Australia. *Journal of medical entomology* 37(6):846-853.
- Lai, C. H., K. C. Tung, H. K. Ooi & J. S. Wang, 2000. Competence of *Aedes albopictus* and *Culex quinquefasciatus* as vector of *Dirofilaria immitis* after blood meal with different microfilarial density. *Veterinary Parasitology* 90(3):231-237.
- Lande, R., 1980. Sexual dimorphism, sexual selection, and adaptation in polygenic characters. *Evolution*:292-305.
- Lardeux, F., F. Rivière, Y. Séchan & B. Kay, 1992. Release of *Mesocyclops aspericornis* (Copepoda) for control of larval *Aedes polynesiensis* (Diptera: Culicidae) in land crab burrows on an atoll of French Polynesia. *Journal of medical entomology* 29(4):571-576.

- Lounibos, L., N. Nishimura, J. Conn & R. Lourenço-de-Oliveira, 1995. Life history correlates of adult size in the malaria vector *Anopheles darlingi*. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 90(6):769-774.
- Marques, C. C. A. & C. Miranda, 1992. Influência de extratos de formas evolutivas sobre atividades de oviposição de fêmeas de *Aedes (S) albopictus* (Skuse). *Revista de Saúde Pública* 26(4):269-271.
- Marten, G. G., 1990. Elimination of *Aedes albopictus* from tire piles by introducing *Macrocyclus albidus* (Copepoda, Cyclopidae). *Journal of the American Mosquito Control Association* 6(4):689-693.
- Marten, G. G., E. S. Bordes & M. Nguyen, 1994. Use of cyclopoid copepods for mosquito control. *Hydrobiologia* 292(1):491-496.
- Marten, G. G., G. Borjas, M. Cush, E. Fernandez & J. W. Reid, 1994. Control of larval *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) by cyclopoid copepods in peridomestic breeding containers. *Journal of medical entomology* 31(1):36-44.
- Martins, V. E. P., C. Alencar, P. E. G. Facó, R. F. Dutra, C. R. Alves, R. J. S. Pontes & M. GUEDES, 2010. Distribuição espacial e características dos criadouros de *Aedes albopictus* e *Aedes aegypti* em Fortaleza Estado do Ceará. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 43:73-77.
- Mboera, L., W. Takken, K. Mdira, G. Chuwa & J. Pickett, 2000. Oviposition and behavioral responses of *Culex quinquefasciatus* to skatole and synthetic oviposition pheromone in Tanzania. *Journal of Chemical Ecology* 26(5):1193-1203.
- Mieli, M. V., G. Marti & J. J. García, 2002. Laboratory evaluation of *Mesocyclops annulatus* (Wierzejski, 1892)(Copepoda: Cyclopidea) as a predator of container-breeding mosquitoes in Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 97(6):835-838.
- Mogi, M., C. Khamboonruang, W. Choochote & P. Suwanpanit, 1988. Ovitrap surveys of dengue vector mosquitoes in Chiang Mai, northern Thailand: seasonal shifts in

relative abundance of *Aedes albopictus* and *Ae. aegypti*. *Medical and Veterinary Entomology* 2(4):319-324.

- Mokany, A. & R. Shine, 2003. Oviposition site selection by mosquitoes is affected by cues from conspecific larvae and anuran tadpoles. *Austral Ecology* 28(1):33-37.
- Moore, C. G. & C. J. Mitchell, 1997. *Aedes albopictus* in the United States: ten-year presence and public health implications. *Emerging Infectious Diseases* 3(3):329-334.
- Nam, V. S., T. Y. Nguyen, B. H. Kay, G. G. Marten & J. W. Reid, 1998. Eradication of *Aedes aegypti* from a village in Vietnam, using copepods and community participation. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 59(4):657-660.
- Nam, V. S., N. T. Yen, T. V. Phong, T. U. Ninh, M. Le Quyen, L. Le Viet, A. Bektaş, A. Briscoe, J. G. Aaskov & P. A. Ryan, 2005. Elimination of dengue by community programs using *Mesocyclops* (Copepoda) against *Aedes aegypti* in central Vietnam. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 72(1):67-73.
- Pamplona, L. d. G. C., C. H. Alencar, J. W. O. Lima & J. Heukelbach, 2009. Reduced oviposition of *Aedes aegypti* gravid females in domestic containers with predatory fish. *Tropical Medicine & International Health* 14(11):1347-1350.
- Panogadia-Reyes, C. M. Cruz, E. I. C. & S. L. Bautista, 2004. Philippine species of *Mesocyclops* (Crustacea: Copepoda) as a biological control agent of *Aedes aegypti* (Linnaeus). *Dengue Bulletin* 28:174-178.
- Panogadia-Reyes, C. M., E. I. Cruz & S. L. Bautista, 2004. Philippine species of *Mesocyclops* (Crustacea: Copepoda) as a biological control agent of *Aedes aegypti* (Linnaeus). *Dengue Bulletin* 28:174-178.
- Pernía, J., E. N. Z. d. Roa & M. Palacios-Cáceres, 2007. Prey-predator relationship between the cyclopoids *Mesocyclops longisetus* and *Mesocyclops meridianus* with *Anopheles aquasalis* larvae. *Journal of the American Mosquito Control Association* 23(2):166-171.

- Ponlawat, A. & L. C. Harrington, 2007. Age and body size influence male sperm capacity of the dengue vector *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology* 44(3):422-426.
- Rey, J. R., S. O Connell, S. Suárez, Z. Menéndez, L. P. Lounibos & G. Byer, 2004. Laboratory and field studies of *Macrocyclus albidus* (Crustacea: Copepoda) for biological control of mosquitoes in artificial containers in a subtropical environment. *Journal of vector ecology* 29:124-134.
- Rivière, F., B. Kay, J. M. Klein & Y. Séchan, 1987. *Mesocyclops aspericornis* (Copepoda) and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* for the biological control of *Aedes* and *Culex* vectors (Diptera: Culicidae) breeding in crab holes, tree holes, and artificial containers. *Journal of medical entomology* 24(4):425-430.
- Rodríguez Rodríguez, J., Z. Menéndez Díaz, I. García García, M. Díaz Pérez, J. E. Sánchez & R. Gato Armas, 2007. Conducta de oviposición de *Aedes aegypti* (L.) en presencia de *Macrocyclus albidus* (J.) y *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* en condiciones de laboratorio. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 59(1):73-75.
- Roiz, D., M. Neteler, C. Castellani, D. Arnoldi & A. Rizzoli, 2011. Climatic factors driving invasion of the tiger mosquito (*Aedes albopictus*) into new areas of Trentino, northern Italy. *PloS one* 6(4):e14800.
- Sant'Ana, A. L., 1996. Primeiro encontro de *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) no estado do Paraná, Brasil. *Revista de Saúde Pública* 30:392-393.
- Santos, L. U. & C. F. S. Andrade, 1997. Survey of cyclopids (Crustacea, Copepoda) in Brazil and preliminary screening of their potential as dengue vector predators. *Revista de Saúde Pública* 31(3):221-226.
- Santos, L. U., C. F. S. Andrade & G. A. Carvalho, 1996. Biological control of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) larvae in trap tyres by *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopidae) in two field trials. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 91(2):161-162.

- Santos, R. L. C., 2003. Updating of the distribution of *Aedes albopictus* in Brazil (1997-2002). *Revista de Saúde Pública* 37(5):671-673.
- Schliekelman, P., S. Ellner & F. Gould, 2005. Pest control by genetic manipulation of sex ratio. *Journal of economic entomology* 98(1):18-34.
- Serpa, L. L. N., S. D. C. B. Monteiro & J. C. Voltolini, 2008. Efeito da água de criação larval na oviposição de *Aedes aegypti* em laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 41:515-517.
- Serufo, J. C., H. M. de Oca, V. A. Tavares, A. M. Souza, R. V. Rosa, M. C. Jamal, J. R. Lemos, M. A. Oliveira, R. M. Nogueira & H. G. Schatzmayr, 1993. Isolation of dengue virus type 1 from larvae of *Aedes albopictus* in Campos Altos city, State of Minas Gerais, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 88(3):503-504.
- Sih, A., P. Crowley, M. McPeck, J. Petranka & K. Strohmeier, 1985. Predation, competition, and prey communities: a review of field experiments. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16:269-311.
- Silva, I. G., L. C. Costa, H. H. G. Silva, V. P. Guimarães & C. N. Elias, 2009. Estudo do comportamento de oviposição no campo e o ciclo de vida de *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae) em laboratório. *Revista de Patologia Tropical* 38(1).
- Sprenger, D. & T. Wuithiranyagool, 1986. The discovery and distribution of *Aedes albopictus* in Harris County, Texas. *J Am Mosq Control Assoc* 2(2):217-9.
- Stav, G., L. Blaustein & Y. Margalit, 2005. Individual and interactive effects of a predator and controphic species on mosquito populations. *Ecological applications* 15(2):587-598.
- Stoops, C. A., 2005. Influence of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on oviposition of *Aedes albopictus* (Skuse). *Journal of vector ecology* 30(1):41-44.

- Suarez-Rubio, M. & M. F. Suarez, 2004. The use of the copepod *Mesocyclops longisetus* as a biological control agent for *Aedes aegypti* in Cali, Colombia. *Journal of the American Mosquito Control Association* 20(4):401-404.
- Torres-Estrada, J. L., R. A. Meza-Álvarez, L. Cruz-López, M. H. Rodríguez & J. I. Arredondo-Jiménez, 2007. Attraction of gravid *Anopheles pseudopunctipennis* females to oviposition substrates by *Spirogyra majuscula* (Zygnematales: Zygnmataceae) algae under laboratory conditions. *Journal of the American Mosquito Control Association* 23(1):18-23.
- Torres-Estrada, J. L., M. H. Rodríguez, L. Cruz-López & J. I. Arredondo-Jimenez, 2001. Selective oviposition by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in response to *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopoidea) under laboratory and field conditions. *Journal of medical entomology* 38(2):188-192.
- Trexler, J. D., C. S. Apperson, L. Zurek, C. Gemeno, C. Schal, M. Kaufman, E. Walker, D. W. Watson & L. Wallace, 2003. Role of bacteria in mediating the oviposition responses of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology* 40(6):841-848.
- Tsunoda, T., A. Fukuchi, S. Nanbara & M. Takagi, 2010. Effect of body size and sugar meals on oviposition of the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of vector ecology* 35(1):56-60.
- Usmani-Brown, S., L. Cohnstaedt & L. E. Munstermann, 2009. Population genetics of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) invading populations, using mitochondrial nicotinamide adenine dinucleotide dehydrogenase subunit 5 sequences. *Annals of the Entomological Society of America* 102(1):144-150.
- Yee, D. A., B. Kesavaraju & S. A. Juliano, 2004. Interspecific differences in feeding behavior and survival under food-limited conditions for larval *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Annals of the Entomological Society of America* 97(4):720-728.

Yee, D. A., B. Kesavaraju & S. A. Juliano, 2007. Direct and indirect effects of animal detritus on growth, survival, and mass of invasive container mosquito *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology* 44(4):580-588.

CAPITULO I

**Efeitos da predação do copépodo *Mesocyclops
ogunnus* sobre o tamanho e a razão sexual do
mosquito *Aedes albopictus***

Resumo

Efeitos da predação do copéodo *Mesocyclops ogunnus* sobre o tamanho e a razão sexual do mosquito *Aedes albopictus*

Copéodos ciclopóides têm sido utilizados como agentes de controle biológicos em programas de controle de larvas de mosquito, mas os impactos dessa predação sobre as populações de mosquitos adultos ainda são pouco compreendidos. O presente estudo comparou as razões sexuais e o tamanho do corpo de mosquitos *Aedes albopictus* (com base no comprimento da asa) que emergiram de recipientes contendo o copéodo predador *Mesocyclops ogunnus* com aqueles que emergiram de recipientes controles. Com base nos resultados obtidos constatou-se que a predação de copéodos alterou significativamente a razão sexual de mosquitos favorecendo fêmeas. Machos e fêmeas que emergiram de recipientes contendo copéodo foram significativamente maiores em comparação aqueles que emergiram do controle. As alterações induzidas pela predação de copéodos em populações de mosquitos apresentam importâncias ecológicas e epidemiológicas, visto serem as fêmeas de mosquitos do gênero *Aedes* os principais vetores do dengue .

Palavras-chave: Razão sexual; Predação; Mosquito; Copéodos; *Mesocyclops*.

Abstract

Effects of predation by the copepod *Mesocyclops oregonus* on the sex ratios of mosquito

Aedes albopictus

Cyclopoid copepods have been used as biological agents in successful programs to control mosquito larvae, but the impacts of this predation on adult mosquito populations are still poorly understood. The present study compared the sex ratios and body sizes (measure as wing length) of *Aedes albopictus* mosquitoes emerging from recipients containing the copepod predator *Mesocyclops oregonus* with control situations without this predator. We found that copepod predation significantly biased mosquito sex ratios towards females, and that both the males and females emerging from copepod-containing recipients were significantly larger than control insects. The ecological and epidemiological consequences of the changes induced by copepod predation on mosquito populations are discussed.

Key-words: Sex ratio; Predation; Mosquito; Copepod; *Mesocyclops*.

1. Introdução

Várias espécies de copépodes ciclopóides predam larvas de mosquito em seus primeiros ínstares (Marten 2007; Marten *et al.* 1993; Marti *et al.* 2004; Panogadia-Reyes *et al.* 2004; Rey *et al.* 2004), e têm sido usados em programas de controle de mosquitos transmissores de doenças, como a dengue (Nam *et al.* 1998; Nam *et al.* 2005). Copépodes pertencentes ao gênero *Mesocyclops* são considerados eficientes controladores de larvas podendo consumir uma média de até 40 larvas por dia em ensaios de laboratório (Marten & Reid 2007). No entanto, um aspecto chave ainda negligenciado em experimentos anteriores tem sido o efeito da predação de copépodos sobre a razão sexual dos mosquitos. Potenciais alterações nas razões sexuais podem ter importantes consequências ecológicas e epidemiológicas uma vez que somente as fêmeas de mosquito se alimentam de sangue atuando como vetores de várias arboviroses (Devicari *et al.* 2011).

A determinação do sexo em mosquitos é geneticamente controlada por 2 alelos com uma frequência esperada de 1:1 (Gilchrist & Haldane 1947; Graham *et al.* 2004; Hickey & Craig Jr 1966). Contudo, larvas de mosquito fêmeas são maiores e apresentam um maior tempo de desenvolvimento em relação aos machos. Koenraadt (2008), por exemplo, verificou que as pupas de fêmeas de *Ae. aegypti* podem atingir 4,0 mg de peso úmido em comparação ao peso máximo de 2,6 mg atingido por pupas do sexo masculino. Dessa forma, machos e fêmeas podem responder de forma diferente às características do ambiente ou às pressões competitivas e predatórias (Alto *et al.* 2005; Bedhomme *et al.* 2003; Chaves *et al.* 2011). Chaves *et al.* (2011) verificaram que o aumento na quantidade de nutrientes e a diminuição na densidade larval alteraram a razão sexual de *Culex quinquefasciatus*, favorecendo as fêmeas. Esta mudança na razão sexual pode ser atribuída provavelmente a reduzida competição e grande quantidade de recurso, já que as fêmeas, devido ao seu maior tamanho, possuem maiores exigências nutricionais.

A razão sexual pode ser influenciada por pressões diferenciais de predação, como observado em alguns táxons. Por exemplo, Hirst *et al.* (2010) em seus estudos com copépodos marinhos, propuseram que as relações sexuais normalmente direcionadas para as fêmeas, são principalmente o resultado da predação. Estudos com morcegos insetívoros demonstraram uma predação preferencial de mariposas do sexo masculino, provavelmente devido a diferentes padrões de atividade de voo entre os sexos (Acharya 1995). Alterações na razão

sexual de mosquitos em função da predação, foram observadas em trabalho realizados por Alto *et al.* (2005) que descobriram que a presença de larvas de *Toxorhynchites rutilus* (Diptera, Culicidae) pode alterar a proporção sexual de *Ae. albopictus*, favorecendo os machos, enquanto a predação exercida por larvas de *Corethrella appendiculata* (Diptera, Chaoboridae) não produziram efeitos significativos nas razões sexuais de *Ae. albopictus*.

Mudanças no tamanho do corpo do mosquito adulto podem ter consequências para a ecologia e para a saúde pública, uma vez que estas variações poderiam alterar a eficiência de fêmeas em atuar como vetores de doenças (Armbruster & Hutchinson 2002). A predação dos copépodos é dependente do tamanho das larvas (Marten & Reid 2007). Por apresentarem um tamanho de corpo pequeno em relação as suas presas, copépodos predam preferencialmente larvas em estágios iniciais ou ainda larvas com tamanho de corpo reduzido, podendo resultar na emergência de adultos maiores. Sendo assim, hipotetizou-se que a predação de copépodos sobre as larvas pode influenciar a razão sexual de mosquitos devido ao dimorfismo sexual encontrado em Culicidae.

Assim este trabalho teve por objetivo verificar o efeito da predação de copépodos sobre as populações de mosquitos; onde foi testado se a presença do copépodo *Mesocyclops ogunnus* (Onabamiro, 1957) pode alterar significativamente a proporção entre sexos e o tamanho médio do corpo de *Ae. albopictus* (Skuse, 1895), que emergiram a partir de recipientes onde os copépodos estiveram presentes.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Verificar o efeito da presença de *Mesocyclops ogunnus* sobre a estrutura populacional de larvas de *Aedes albopictus* e a resposta comportamental de fêmeas de *Ae. albopictus* em selecionar ambientes para a oviposição na presença deste predador.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Comparar a atividade de oviposição de *Ae. albopictus* sob a influência do *M. ogunnus*;
- ✓ Avaliar o efeito da predação do *M. ogunnus* sobre as larvas de *Ae. albopictus* nos recipientes, com base no número médio de larvas;
- ✓ Analisar o efeito da predação do *M. ogunnus* sobre a razão sexual de *Ae. albopictus*;
- ✓ Avaliar diferenças no comprimento alar de mosquitos que emergem dos recipientes contendo o *M. ogunnus*.

3. Materiais e Métodos

Os experimentos foram realizados ao ar livre nas instalações do Laboratório Tropical de Primatologia, localizada em um fragmento de Mata Atlântica no Campus I da Universidade Federal da Paraíba, Nordeste do Brasil (7° 8' 17,82 "S, 34° 50' 37,62" W). Estudos preliminares demonstraram que *Ae. albopictus* é a espécie de mosquito dominante na área, provavelmente usando recipientes artificiais como criadouros, ou ainda utilizando tanques de bromélias encontrados em na área de estudo (embora existam evidências de que bromélias tanques não são criadouros preferenciais para espécies invasoras de mosquitos (Forattini *et al.* 1998; Lopez *et al.* 2011; Mocellin *et al.* 2009; Varejão *et al.* 2005)).

Para realização deste experimento foram utilizados 20 recipientes (1 litro) contendo água desclorada, dos quais 10 foram aleatoriamente designados como tratamentos e receberam 20 indivíduos de *M. ogunnus* por recipiente, enquanto a outra metade permaneceu sem copépodes, atuando como controle. Os copépodes foram obtidos a partir de culturas laboratoriais estabelecidas a partir de uma única fêmea de *M. ogunnus*. Um *pellet* de ração para peixe (0.03g) foi adicionado em cada recipiente por semana, e os recipientes permaneceram expostos para oviposição natural de fêmeas de mosquitos durante os meses de maio a junho de 2011. Uma vez por semana foi retirada de cada recipiente uma amostra de 400 ml. O número de larvas de mosquito e o número de copépodos presente em cada amostra foram contados utilizando um estereomicroscópio. Após a amostragem o conteúdo analisado foi devolvido ao seu respectivo recipiente.

Os recipientes foram examinados diariamente, por meio de inspeção visual para verificar a presença de pupas *Ae. albopictus*, estas por sua vez, foram coletadas e individualizadas em pequenos recipientes plásticos. Os adultos emergidos foram sexados, observando-se sua genitália com um auxílio de estereomicroscópio e seu comprimento da asa foi usado para estimar o tamanho do corpo (Bedhomme *et al.* 2003). A asa direita de cada adulto foi removida e a distância entre o entalhe da alula e a ponta da asa foi medida. No final do experimento, o conteúdo total de cada recipiente foi preservado (3% de formaldeído saturado com sacarose) e o número de ovos de *Aedes* (eclodidos e não eclodidos) presente nas amostras foi contado.

As diferenças na razão sexual entre os tratamentos foram determinadas pelo teste do Qui-quadrado. O número de larvas de mosquitos encontrados nos recipientes durante o experimento foi comparado utilizando ANOVA de medidas repetidas. As diferenças no comprimento de asa foram testadas usando o teste de Mann-Whitney e a diferença no número de ovos encontrados nos recipientes no final da experiência foi testada usando um teste *t*. A normalidade dos dados foi testada usando o teste de Shapiro-Wilk e o nível de significância utilizado em cada teste foi de $\alpha = 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o pacote de software R (R Development Core Team 2012) e o software Statistica 8.0. (StatSoft 2007).

4. Resultados

Dois semanas após a introdução de *M. ogunnus*, os recipientes com copépodes passaram a demonstrar uma redução no número de larvas de *Ae. albopictus*, que se manteve baixo até ao final do experimento (Figura 1). No final do experimento, os tratamentos com copépodes apresentaram uma densidade média de 4,5 ($\pm 3,2$ EP) comparada com 31,8 ($\pm 7,3$ EP) larvas/litro nos recipientes sem predadores. A variação da densidade média de copépodo por semanas aumentou ao longo do experimento atingindo um pico de densidade populacional na terceira semana como uma média de 111,8 ($\pm 23,1$ EP) (Figura 2). A ANOVA de medidas repetidas, usando dados de 20 recipientes durante 5 semanas (N=100) indicou a existência de um efeito significativo para a presença de copépodes ($F = 15,41$, $df = 1$, $p < 0,001$) e para da interação com o tempo ($F=26,75$, $df=1$, $p < 0,001$) no número de larvas encontradas nos recipientes. Uma média ligeiramente superior de ovos de *Ae. albopictus* foi encontrada em recipientes contendo os copépodes ($76,9 \pm 7,60$ EP) em comparação aos controles ($70,2 \pm 4,85$ EP), no entanto, essa diferença não foi estatisticamente significativa (teste *t*, $t = -0,7$; $df = 9$, $p = 0,500$)(Figura 3).

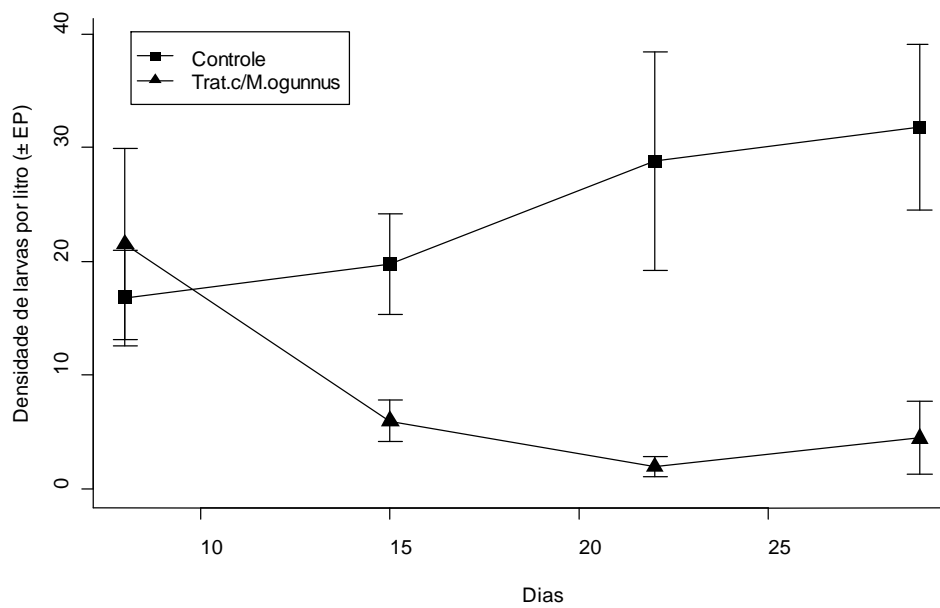


Figura 1: Densidade média (\pm EP) de larvas de *Aedes albopictus* por litro durante o experimento nos recipientes contendo copépodos (triângulos, N=10) e nos recipientes controles (quadrados, N=10).

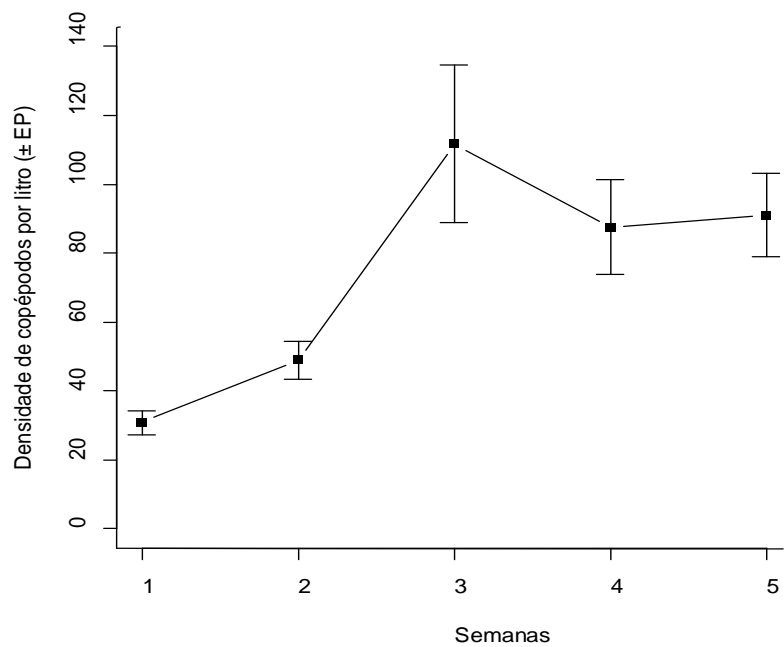


Figura 2: Variação da densidade *M.ogunnus* por litro (\pm EP) ao longo das cinco semanas de experimento (n=10).

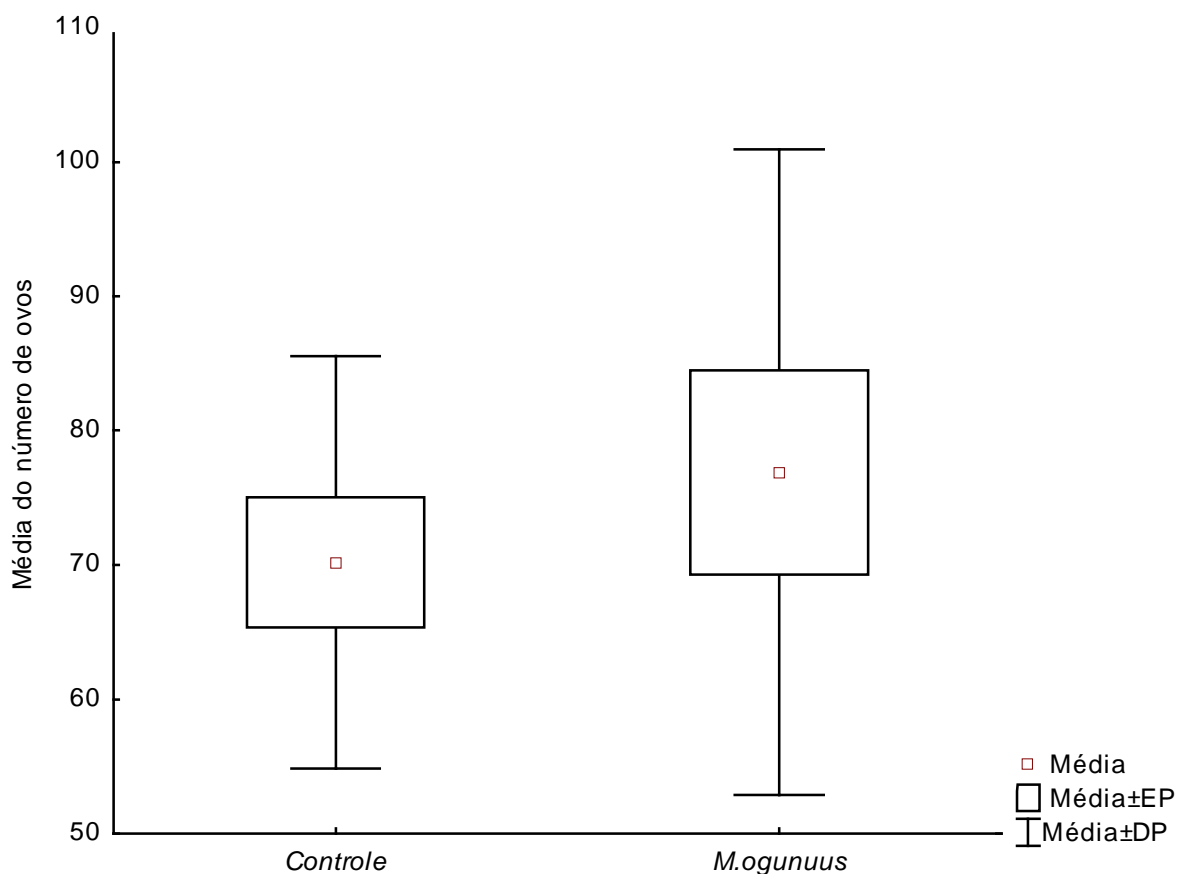


Figura 3: Média do número de ovos presentes nos recipientes controles e nos recipientes contendo *M.ogunus* no final do experimento.

Durante as cinco semanas de experimento, os recipientes contendo copépodes produziram populações de mosquitos adultos cuja razão sexual mostrou-se inclinada para fêmeas (17 machos, 44 fêmeas) em comparação aos recipientes controles (110 machos, 122 fêmeas). Esta diferença foi altamente significativa ($X^2 = 7,51$, $df = 1$, $p = 0,006$). A proporção de machos e fêmeas no início do experimento foi de 1:1 aumentando gradativamente até atingir 3:1 ao final do experimento (Figura 4). A taxa de sobrevivência total de pupas durante o experimento foi de 89%, ($N = 328$).

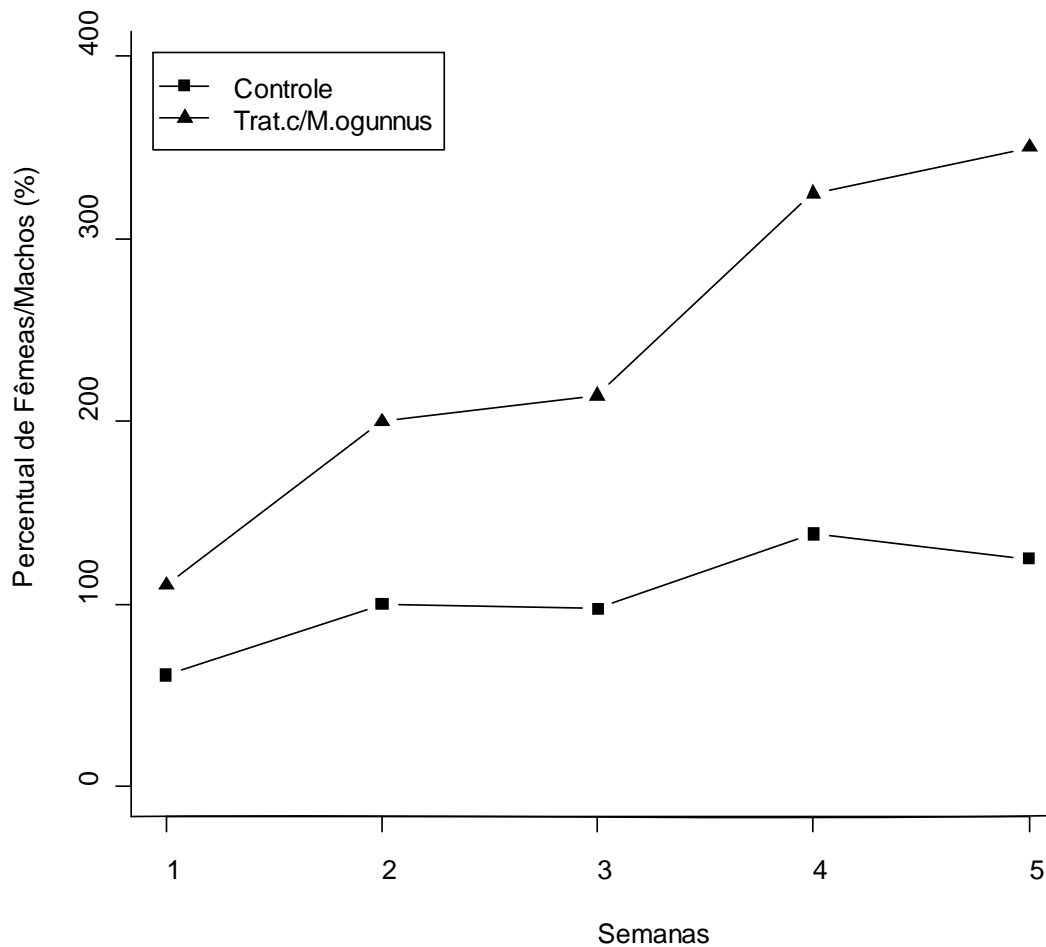


Figura 4: Variação temporal na razão sexual de *Aedes albopictus* que emergiram de recipientes com copépodos (triângulos) em relação ao controle (quadrados).

O tamanho médio do corpo de mosquitos que emergiram de recipientes com copépodos foi significativamente maior ($2,57 \pm 0,05$, $N = 61$) do que a de mosquitos que emergiram dos recipientes controles ($2,37 \pm 0,020$, $N = 232$) (Mann–Whitney, $U=5,019$, $p < 0,001$). Este aumento no tamanho do corpo, devido à presença de copépodos, também foi observada quando os mosquitos foram separados por sexo. Os machos e fêmeas que emergiram a partir de recipientes com copépodos tiveram em média os maiores comprimentos de asa em comparação aos mosquitos do mesmo sexo que emergiram de recipientes controles (Mann-Whitney, $p < 0,05$) (Figura 5).

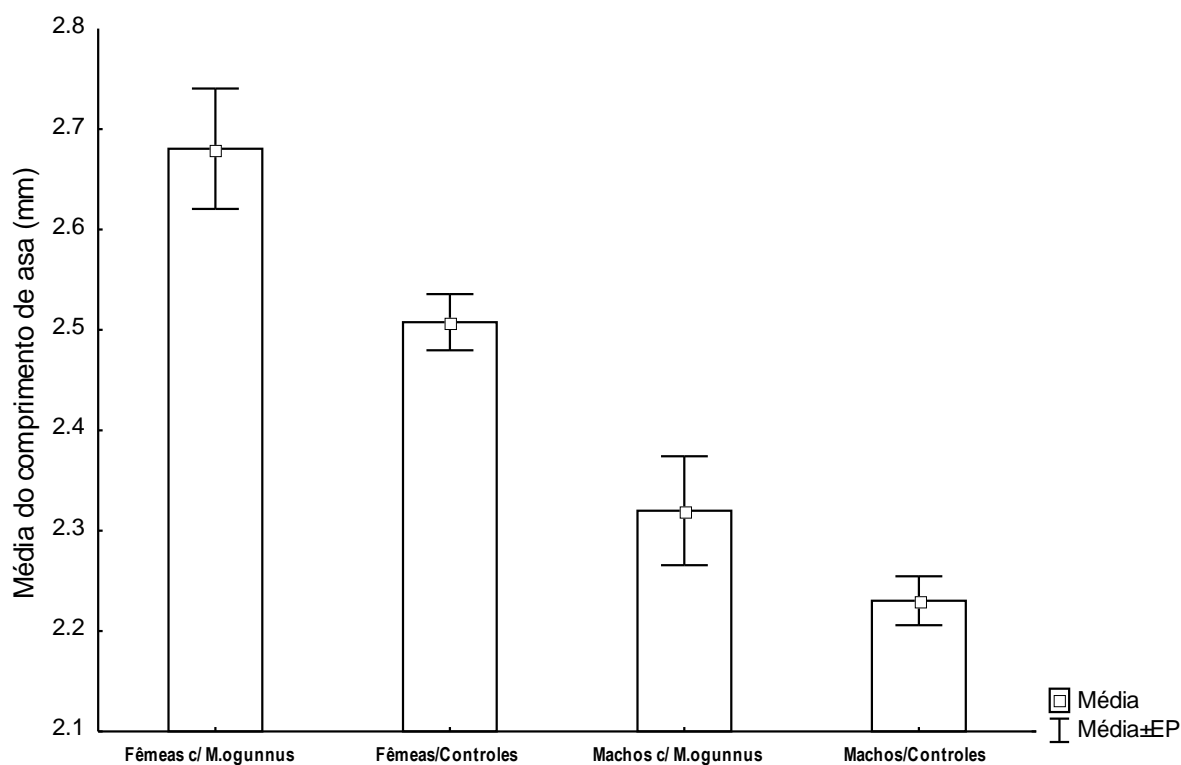


Figura 5: Média do comprimento de asas de *Ae. albopictus* (\pm EP) que emergiram de recipientes contendo o copépodo *M. ogunnus* comparada à dos mosquitos que emergiram de recipientes sem copépodos.

A predação dos copépodos teve um forte efeito sobre o número de larvas de mosquitos, reduzindo o número médio de larvas em 86% em comparação aos controles, na última semana. No entanto, a predação do copépodo teve um efeito menor sobre a emergência de mosquitos adultos, com uma redução de 45% no número total dos adultos que emergiram de recipientes contendo copépodos durante o mesmo período de estudo. Um efeito ainda menor foi detectado quando apenas o número de fêmeas adultas emergentes dos tratamentos contendo copépodos foi contado, apresentando uma redução de 28%. É possível que este valor observado para a redução de fêmeas seja uma consequência das mudanças na razão sexual que favoreceram as fêmeas em recipientes com copépodos.

5. Discussão

Copépodos ciclopóides são considerados eficientes agentes de controle biológico de larvas de mosquitos, devido às suas altas taxas de consumo e sua capacidade de localizar suas presas mesmo na ausência de luz usando mecanorreceptores (Marten & Reid 2007). Embora algumas espécies de mosquitos pareçam ter mecanismos de defesa contra a predação de copépodos, como por exemplo, as cerdas e a espessa cutícula encontrada em *Culex salinarius* (Marten *et al.* 1994); mosquitos do gênero *Aedes*, tendem a ser susceptíveis ao controle biológico utilizando copépodos. O controle biológico de larvas de mosquitos utilizando copépodos possui várias vantagens econômicas e ambientais em relação ao controle químico (Quiroz-Martínez & Rodríguez-Castro 2007), todavia é importante compreender o impacto da predação de copépodos sobre a razão sexual dos mosquitos, pois são estas que se alimentam de sangue atuando como transmissoras de doenças e consequentemente tendo uma maior importância epidemiológica que os machos.

Nenhuma diferença significativa foi observada no número de ovos de *Ae. albopictus* ovipositados nos recipientes com copépodos, de forma que podemos assumir que as diferenças encontradas na estrutura populacional de mosquitos devem-se à predação seletiva de copépodos. Em uma meta-análise de dados publicados, Vonesh & Blaunstein (2010) relataram que muitos estudos verificaram que algumas espécies de mosquitos tendem a evitar colocar ovos em recipientes contendo peixes predadores ou insetos. No entanto, outros estudos tem relatado um efeito atrativo para oviposição de *Aedes* causada por substâncias liberadas por copépodos predadores (Torres-Estrada *et al.* 2001) e pela presença de peixes *Betta* (Pamplona *et al.* 2009).

Uma hipótese para explicar as mudanças nas relações sexuais que favorecem as fêmeas é a de que existe uma maior pressão de predação sobre larvas do sexo masculino; em virtude do seu reduzido tamanho de corpo, dado que copépodos tendem a preda larvas menores (Panogadia-Reyes *et al.* 2004). Outra hipótese para explicar as mudanças observadas na razão entre os sexos poderia ser a reduzida competição entre as larvas que sobreviveram à predação pelos copépodos. Larvas de machos e fêmeas de mosquito têm diferentes tamanhos de corpo e necessitam de diferentes quantidades de recursos alimentares para completar seu desenvolvimento podendo, portanto, reagir de maneira diferente à competição intraespecífica por recursos (Mercer *et al.* 2008). Beserra *et al.* (2009), por exemplo, observou que os

recipientes com baixas densidades de larvas de *Ae. aegypti* produziram leves distorções na razão sexual de mosquitos adultos favorecendo a emergência de fêmeas.

As diferenças observadas no tamanho do corpo de ambos os sexos que emergiram de recipientes com copépodos podem ser explicadas por processos similares aos que levaram as alterações na razão sexual. Uma predação seletiva exercida por copépodos ou ainda a redução da competição intraespecífica em função da predação poderiam, portanto resultar na emergência de adultos maiores. Outros estudos demonstraram que baixas densidades de larvas entre *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* levam à emergência de adultos maiores devido à redução da competição (Beserra *et al.* 2009; Gama *et al.* 2005; Serpa *et al.* 2008). Estudos futuros serão necessários para verificar se as mudanças observadas na proporção entre os sexos foram causados diretamente pela predação seletiva de copépodos, ou pela maior disponibilidade de recursos resultante da redução das densidades larvais.

Mudanças no tamanho do corpo dos mosquitos adultos, induzidas direta ou indiretamente pela predação de copépodos, podem ter importantes conseqüências ecológicas e epidemiológicas. Por exemplo, Sumanochitrapon *et al.* (1998) encontraram uma correlação positiva onde coortes de *Ae. aegypti* com maior tamanho do corpo são mais propensas, a serem infectadas com o vírus 2 da dengue, que coortes com um menor tamanho. Alto *et al.* (2008) também encontraram um efeito significativo do tamanho sobre a infecção e disseminação da dengue em *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* ao contrário do Sumanochitrapon *et al.* (1998) que observaram uma correlação negativa entre o tamanho e a probabilidade de infecção.

Pesquisas sobre os efeitos da predação de copépodos ciclopóides têm tradicionalmente focado nos efeitos da predação sobre as densidades de larvas (Marten *et al.* 1989; Panogadia-Reyes *et al.* 2004; Pernía *et al.* 2007; Rey *et al.* 2004; Tranchida *et al.* 2009). No entanto, demonstrou-se aqui que a predação de copépodos também pode afetar o razão sexual e o tamanho do corpo de populações de mosquitos adultos. Mais estudos são necessários para que se possa compreender em maior detalhe os impactos do uso de copépodos no controle biológico de mosquitos assim como os efeitos da predação de copépodos na dinâmica populacional de mosquitos em ambientes naturais.

6. Referências Bibliográficas

- Acharya, L., 1995. Sex-biased predation on moths by insectivorous bats. *Animal behaviour* 49(6):1461-1468.
- Alto, B., M. Griswold & L. Lounibos, 2005. Habitat complexity and sex-dependent predation of mosquito larvae in containers. *Oecologia* 146(2):300-310.
- Alto, B. W., M. H. Reiskind & L. P. Lounibos, 2008. Size alters susceptibility of vectors to dengue virus infection and dissemination. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 79(5):688-695.
- Armbruster, P. & R. A. Hutchinson, 2002. Pupal mass and wing length as indicators of fecundity in *Aedes albopictus* and *Aedes geniculatus* (diptera: culicidae). *Journal of medical entomology* 39(4):699-704.
- Bedhomme, S., P. Agnew, C. Sidobre & Y. Michalakis, 2003. Sex-specific reaction norms to intraspecific larval competition in the mosquito *Aedes aegypti*. *Journal of Evolutionary Biology* 16(4):721-730.
- Beserra, E. B., C. R. M. Fernandes & P. S. Ribeiro, 2009. Relação entre densidade larval e ciclo de vida, tamanho e fecundidade de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) em laboratório. *Neotropical Entomology* 38:847-852.
- Chaves, L., C. Keogh, A. Nguyen, G. Decker, G. Vazquez-Prokopec & U. Kitron, 2011. Combined sewage overflow accelerates immature development and increases body size in the urban mosquito *Culex quinquefasciatus*. *Journal of Applied Entomology* 135(8):611-620.
- Devicari, M., A. R. Lopes & L. Suesdek, 2011. Dimorfismo sexual alar em *Aedes scapularis* (Diptera: Culicidae). *Biota Neotropica* 11:165-169.
- Forattini, O. P., G. Marques, I. Kakitani, M. Brito & M. Sallum, 1998. Significado epidemiológico dos criadouros de *Aedes albopictus* em bromélias. *Rev Saúde Pública* 32(2):186-188.
- Gama, R. A., K. Alves, R. F. Martins, A. Eiras & M. Resende, 2005. Efeito da densidade larval no tamanho de adultos de *Aedes aegypti* criados em condições de laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 34:64-66.

- Gilchrist, B. M. & J. B. S. Haldane, 1947. Sex linkage and sex determination in a mosquito, *Culex molestus*. *Hereditas* 33(1-2):175-190.
- Graham, D., J. Holmes & W. Black IV, 2004. Identification of quantitative trait loci affecting sex determination in the eastern treehole mosquito (*Ochlerotatus triseriatus*). *Journal of Heredity* 95(1):35-45.
- Hickey, W. A. & G. B. Craig Jr, 1966. Genetic distortion of sex ratio in a mosquito, *Aedes aegypti*. *Genetics* 53(6):1177-1196.
- Hirst, A., D. Bonnet, D. Conway & T. Kiørboe, 2010. Does predation control adult sex ratios and longevities in marine pelagic copepods? *Limnology and Oceanography* 55(5):2193-2206.
- Koenraadt, C. J. M., 2008. Pupal dimensions as predictors of adult size in fitness studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology* 45(2):331-336.
- Lopez, L. C. S., E. G. B. Silva, M. G. Beltrão, R. S. Leandro, J. E. L. Barbosa & E. B. Beserra, 2011. Effect of tank bromeliad micro-environment on *Aedes aegypti* larval mortality. *Hydrobiologia* 665(1):257-261.
- Marten, G. G., 2007. Larvicidal algae. *Journal of the American Mosquito Control Association* 23(sp2):177-183.
- Marten, G. G., R. Astaiza, M. F. Suarez, C. Monje & J. W. Reid, 1989. Natural control of larval *Anopheles albimanus* (Diptera: Culicidae) by the predator *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopoida). *Journal of medical entomology* 26(6):624-627.
- Marten, G. G., G. Borjas, M. Cush, E. Fernandez & J. W. Reid, 1994. Control of larval *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) by cyclopoid copepods in peridomestic breeding containers. *Journal of medical entomology* 31(1):36-44.
- Marten, G. G., W. Che, E. S. Bordes & W. Che, 1993. Compatibility of cyclopoid copepods with mosquito insecticides. *Jornal Americam Mosquitoes Control Association* 9:150-150.
- Marten, G. G. & J. W. Reid, 2007. Cyclopoid copepods. *Jornal Americam Mosquitoes Control Association* 23(2):65-92.
- Marti, G. A., M. V. Micieli, A. C. Scorsetti & G. Liljesthröm, 2004. Evaluation of *Mesocyclops annulatus* (Copepoda: Cyclopoidea) as a control agent of *Aedes*

- aegypti* (Diptera: Culicidae) in Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 99:535-540.
- Mercer, D. R., A. Schoergendorfer & R. Vandyke, 2008. Sexual differences in larval molting rates in a protandrous mosquito (Diptera: Culicidae) species, *Aedes sierrensis*. *Journal of medical entomology* 45(5):861-866.
- Mocellin, M. G., T. C. Simões, T. F. S. Nascimento, M. L. F. Teixeira, L. P. Lounibos & R. L. Oliveira, 2009. Bromeliad-inhabiting mosquitoes in an urban botanical garden of dengue endemic Rio de Janeiro-Are bromeliads productive habitats for the invasive vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*? *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 104(8):1171-1176.
- Nam, V. S., T. Y. Nguyen, B. H. kay, G. G. Marten & J. W. Reid, 1998. Eradication of *Aedes aegypti* from a village in Vietnam, using copepods and community participation. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 59(4):657-660.
- Nam, V. S., N. T. Yen, T. V. Phong, T. U. Ninh, M. Le Quyen, L. Le Viet, A. Bektas, a. Briscoe, J. G. Aaskov & P. A. Ryan, 2005. Elimination of dengue by community programs using *Mesocyclops* (Copepoda) against *Aedes aegypti* in central Vietnam. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 72(1):67-73.
- Pamplona, L. d. G. C., C. H. Alencar, J. W. O. Lima & J. Heukelbach, 2009. Reduced oviposition of *Aedes aegypti* gravid females in domestic containers with predatory fish. *Tropical Medicine & International Health* 14(11):1347-1350.
- Panogadia-Reyes, C. M. Cruz, E. I. C. & S. L. Bautista, 2004. Philippine species of *Mesocyclops* (Crustacea: Copepoda) as a biological control agent of *Aedes aegypti* (Linnaeus). *Dengue Bulletin* 28:174-178.
- Pernía, J., E. N. Z. d. Roa & M. Palacios-Cáceres, 2007. Prey-predator relationship between the cyclopoids *Mesocyclops longisetus* and *Mesocyclops meridianus* with *Anopheles aquasalis* larvae. *Journal of the American Mosquito Control Association* 23(2):166-171.
- Quiroz-Martínez, H. & A. Rodríguez-Castro, 2007. Aquatic insects as predators of mosquito larvae. *Journal of the American Mosquito Control Association* 23(2):110-117.

- R_Development_Core_Team, 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Rey, J. R., S. O Connell, S. Suárez, Z. Menéndez, L. P. Lounibos & G. Byer, 2004. Laboratory and field studies of *Macrocyclops albidus* (Crustacea: Copepoda) for biological control of mosquitoes in artificial containers in a subtropical environment. *Journal of vector ecology* 29:124-134.
- Serpa, L. L. N., I. Kakitani & J. C. Voltolini, 2008. Competição entre larvas de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* em laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 41(5):479-484.
- Sumanochitrapon, W., D. Strickman, R. Sithiprasasna, P. Kittayapong & B. L. Innis, 1998. Effect of size and geographic origin of *Aedes aegypti* on oral infection with dengue-2 virus. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 58(3):283-6.
- Torres-Estrada, J. L., M. H. Rodríguez, L. Cruz-López & J. I. Arredondo-Jimenez, 2001. Selective oviposition by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in response to *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopoidea) under laboratory and field conditions. *Journal of medical entomology* 38(2):188-192.
- Tranchida, M. C., M. V. Micieli, A. Maciá & J. J. García, 2009. Native Argentinean cyclopoids (Crustacea: Copepoda) as predators of *Aedes aegypti* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) mosquitoes. *Revista de biología tropical* 57(4):1059-1068.
- Varejão, J. B. M., C. Santos, H. R. Rezende, L. C. Bevilacqua & A. Falqueto, 2005. Criadouros de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) em bromélias nativas na cidade de Vitória, ES. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 38:238-240.
- Vonesh, J. R. & L. Blaustein, 2010. Predator-induced shifts in mosquito oviposition site selection: A meta-analysis and implications for vector control. *Israel Journal of Ecology and Evolution* 56(3):263-279.

CAPITULO II

**Ação predatória dos copepodos *Mesocyclops
brasilianus* Kiefer, 1933 e *Thermocyclops tenuis*
Marsh, 1910 sobre a estrutura populacional de *Aedes
albopictus* Skuse, 1894**

Resumo

Efeitos da ação predatória de *Mesocyclops brasiliensis* Kiefer, 1933 e *Thermocyclops tenuis* Marsh, 1910 sobre a estrutura populacional de *Aedes albopictus* Skuse, 1894

Os predadores podem alterar a razão sexual e a estrutura de tamanho da população das presas. Neste trabalho, buscou-se avaliar as possíveis diferenças entre as taxas de predação de duas espécies de copépodos: *Mesocyclops brasiliensis* e *Thermocyclops tenuis* e seus efeitos sobre as estruturas de populações naturais de *Ae. albopictus*. As fêmeas mosquitos que emergiram dos recipientes contendo as duas espécies de copépodos foram significativamente maiores do que aquelas que emergiram dos recipientes controle e os recipientes com copépodos também apresentaram um número significativamente maior de ovos de *Aedes* quando comparados aos controles. Embora a razão sexual dos mosquitos que emergiram dos recipientes com as duas espécies de copépodos tenha sido mais tendenciosa para fêmeas do que os controles, a diferença não foi significativa. Em função de sua maior capacidade de reduzir as densidades larvais, mesmo quando em baixas densidades, o copépodo *M.brasiliensis* se mostrou-se um melhor candidato do que a espécie *T.tenuis* para o uso como agente de controle biológico de larvas *Aedes*. Essa maior eficiência de predação da espécie *M.brasiliensis* pode estar relacionada ao seu maior tamanho quando comparado ao *T.tenuis*.

Palavras-chave: *Mesocyclops*; *Thermocyclops*; Predação; Tamanho do corpo.

Abstract

Predation of *Mesocyclops. brasiliianus* Kiefer, 1933 and *Thermocyclops tenuis* (Marsh, 1910) on the population structure of *Ae. albopictus* (Skuse, 1894): Different effects of predator size

Predators can alter the sexual ratio and the size structure of its prey. In this paper we evaluate the differences between the rates of predation of two species of copepods, *Mesocyclops brasiliianus* and *Thermocyclops tenuis* and their impacts on natural populations sctructures of *Ae. albopictus*. The female mosquitoes that emerged from the containers containing the two species of copepods were significantly higher than those that emerged from the control containers and containers with copepods also showed a significantly higher number of *Aedes* eggs when compared to controls. Although the sex ratio of mosquitoes that emerged from recipients with the two species of copepods have been more to biased toward females compared to controls, the difference was not significant. Because of its greater ability to reduce larval densities, even at low densities, the copepod *M.brasiliianus* appears to be a better candidate than *T.tenuis* for use as a biological control agent of *Aedes* larvae. This greater efficiency of the species *M.brasiliianus* predation may be also related to its larger size compared to *T.tenuis*.

Keywords: *Mesocyclop*; *Thermocyclops*; Predation, Body size.

1. Introdução

O efeito direto da predação de copépodos ciclopóides sobre larvas tem sido demonstrado desde 1987 (Rivière *et al.* 1987). Desde então, diferentes espécies de copépodos tem sido avaliados como potenciais controladores biológicos de larvas (Marten *et al.* 1994; Marten *et al.* 1994; Marten & Reid 2007). Os gêneros *Macrocylops*, *Mesocyclops* e *Thermocyclops* têm recebido maior atenção por apresentarem espécies que estabelecem naturalmente relações negativas com as populações de larvas de mosquitos (Nam *et al.* 1998; Santos *et al.* 1996). Espécies como: *Macrocylops albidus* Jurine, 1820, *Mesocyclops longisetus* Thiébaud, 1912, *Mesocyclops aspericornis* Daday, 1906, *Mesocyclops annulatus* Wierzejski, 1892 têm sido estudadas e apontadas como algumas das espécies mais eficientes no controle de larvas, sendo que as espécies a apresentarem as maiores razões de predação geralmente pertencem ao gênero *Mesocyclops* (Kumar & Ramakrishna Rao 2003; Micieli *et al.* 2002; Pernía *et al.* 2007; Ramakrishna Rao & Kumar 2002; Rivière *et al.* 1987; Suárez-Morales *et al.* 2011; Suarez-Rubio & Suarez 2004; Torres-Estrada *et al.* 2001).

Copépodos ciclopóides apresentam uma ampla distribuição geográfica podendo ser encontrados nos mais variados tipos de ambientes aquáticos como: lagos, rios, poças temporárias e até mesmo em tanques de bromélias (Silva 2008; Suárez-Morales *et al.* 2010). Podendo resistir por longos períodos em recipientes artificiais e de uso diário (Nam *et al.* 1998; Nam *et al.* 2005). O tamanho do corpo tem sido uma característica favorável à sua utilização como controladores de mosquitos que se reproduzem em recipientes artificiais, pois seu reduzido tamanho corporal os possibilita colonizar e atuar ativamente em pequenos recipientes, onde o uso de peixes ou outros agentes maiores seriam inviáveis (Marten & Reid 2007).

O tamanho do corpo dos copépodos tem se mostrado uma importante característica a ser considerada no uso destes como controladores biológicos (Marten & Reid 2007). De acordo com Marten & Reid (2007), somente espécies de copépodos com tamanho do corpo maior que 1,4 mm mostram-se eficientes para o controle biológico de larvas. O tamanho do copépodo parece ser um importante fator para o sucesso destes como controladores biológicos de larvas, já que estes predam principalmente larvas em seus primeiros ínstares (Nam *et al.* 1998).

A densidade de copépodos é outro fator relacionado às elevadas taxas de mortalidade das larvas. Trabalhos realizados por Micieli *et al.* (2002) com *Mesocyclops annulatus* demonstraram que, a média de larvas predadas (29 larvas/24 horas) é independente da densidade de larvas. No entanto, quando as densidades de copépodos são elevadas as taxas de mortalidade das larvas aumentaram atingido 100% de mortalidade (Micieli *et al.* 2002). Estudos desenvolvidos com *Mesocyclops longisetus*, demonstraram ainda que com aumento das densidades deste copépodo a mortalidade de alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) aumentam significativamente (Faria *et al.* 2008).

Os gêneros *Mesocyclops* e *Thermocyclops* apresentam alta diversidade nas regiões tropicais (Holynska 2006; Silva 2008; Silva & Matsumura-Tundisi 2005). Diferenças observadas entre as taxas de predação para espécies desses gêneros demonstraram que espécies do gênero *Mesocyclops* são predadores mais eficientes que espécies de *Thermocyclops*, que deve-se, provavelmente, aos diferentes tamanhos de corpo observadas para estes gêneros. No presente trabalho, buscou-se avaliar a eficiência de duas espécies de copépodos pertencentes a estes gêneros: *M. brasilianus* Kiefer , 1933 e *Thermocyclops tenuis* (Marsh, 1910) para de demonstrar diferentes efeitos da predação destes sobre o tamanho corporal, razão sexual e taxas de oviposição de *Ae. albopictus*.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito da predação de *M. brasiliensis* e *T. tenuis* sobre o tamanho corporal, razão sexual e taxas de oviposição de mosquitos *Ae. albopictus*.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Verificar possíveis alterações no comportamento de oviposição de fêmeas *Ae. albopictus* em recipientes contendo *M. brasiliensis*, *T. tenuis* e recipiente controle;
- ✓ Avaliar o efeito da predação sobre as densidades larvais nos três diferentes tratamentos, com base no número médio de larvas;
- ✓ Analisar o efeito da predação exercida por *M. brasiliensis* e *T. tenuis* sobre a razão sexual de *Ae. albopictus*;
- ✓ Avaliar as possíveis diferenças no comprimento alar de mosquitos que emergem dos diferentes tratamentos.

3. Materiais e métodos

Experimentos foram realizados utilizando-se duas espécies de copépodos (*Mesocyclops brasiliannus* e *Thermocyclops tenuis*) provenientes de colônias formadas a partir de uma única fêmea. Os espécimes foram obtidos a partir de coletas realizadas no mês de agosto de 2011, na área de Três Lagoas (7°9'56,54" S e 34°53'44.51" O), zona oeste da cidade de João Pessoa. Os copépodos foram coletados com uso de rede convencional de zooplâncton de malha de 100 µm.

Os experimentos em campo foram realizados, durante os meses de março a abril de 2012, no Laboratório Tropical de Primatologia, da Universidade Federal da Paraíba. Para a realização do experimento, 30 recipientes com capacidade para 1 litro contendo água destilada foram respectivamente divididos em três tratamentos (recipientes controle, recipientes com *M. brasiliannus* e recipientes com *T. tenuis*), onde 20 indivíduos de cada espécie de copépodo foram inicialmente adicionados aos respectivos tratamentos. Os recipientes foram colocados em campo para que fossem colonizados por populações naturais de *Ae. albopictus*. Em cada recipiente foi adicionado meio *pellet* de ração para peixe (0.015g). Uma lona foi utilizada para proteger os potes da água da chuva enquanto outra foi colocada sob os potes para evitar o contato direto com a terra. Os recipientes permaneceram em campo durante toda a realização do experimento para que servissem de sítios de reprodução de *Ae. albopictus*.

Uma vez a cada semana os recipientes eram conduzidos ao Laboratório de Ecologia de Comunidade (LECO) para a amostragem do número de larvas. Duas subamostras de 200 ml foram analisadas de cada recipiente. O volume de cada alíquota foi disposto em placas de Petri e seu conteúdo foi analisado com o auxílio de estereomicroscópio. Depois de efetuada a amostragem as larvas eram devolvidas aos recipientes. Ao final das análises os recipientes eram conduzidos novamente ao Laboratório Tropical de Primatologia. Os mosquitos em estágio adulto foram obtidos através das coletas das pupas realizadas diariamente. O tamanho do corpo dos mosquitos foi estimado a partir do comprimento de asa de cada mosquito. As medidas foram efetuadas sempre a partir da asa direita de cada mosquito com o auxílio de lente micrométrica acoplada ao estereomicroscópio. A sexagem dos mosquitos foi realizada a partir da observação da genitália de cada indivíduo. Ao final do experimento o conteúdo de cada recipientes foi conservado em formaldeído 3% para posterior contagem do número de ovos.

As diferenças nas razões sexuais entre os tratamentos foram determinadas pelo teste do Qui-quadrado. O número de larvas de mosquitos encontrados nos recipientes durante a experimento foi comparada utilizando ANOVA de medidas repetidas. O coeficiente de correlação de Spearman foi utilizado para testar a correlação entre o número de larvas e o número de copépodos nas amostras. A diferença de comprimento da asa foi testada usando o teste de Anova, após uma transformação logarítmica ($\log_{10}+1$) e a diferença no número de ovos encontrados nos recipientes no final da experiência foi testada usando através de One-way ANOVA. Normalidade dos dados foi testada usando o teste de Shapiro-Wilk e o nível de significância utilizado em cada ensaio foi de $\alpha = 0,05$. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o pacote de software R (R_Development_Core_Team 2012) e o software Statistica 8.0. (StatSoft 2007).

4. Resultados

As diferenças entre as médias dos números de larvas presente nos tratamentos mostraram-se significativamente diferentes ($F=42,197$; $df=2$; $p<0.001$). A média das densidades de larvas, por litro encontrada nos tratamentos contendo *M. brasiliensis* ($2,57 \pm 0,52$ EP) e *T. tenuis* ($11,23 \pm 1,91$ EP), mostraram-se reduzidas, enquanto a densidade de larvas nos controles apresentaram valores bem mais elevados ($31,16 \pm 2,76$ EP) ao longo de todo o período de experimento (Figura 6). Um maior número de ovos foi encontrado em recipientes contendo copépodos, no entanto esta diferença não foi significativa ($F= 1,293$; $df=2$; $p< 0,291$)(Figura 7).

Ao longo do experimento o número de mosquitos emergidos dos recipientes controles (machos=141, fêmeas=111) foi maior que o observado para os tratamentos contendo *M.brasiliensis* (machos=25, fêmeas=30) e *T. tenuis* (machos=69, fêmeas=70); não apresentando nenhuma variação significativa (Figura 8). Embora a razão sexual de mosquitos emergidos dos recipientes contendo *M.brasiliensis* tenham apresentado uma leve inclinação para as fêmeas, esta variação na razão sexual dos mosquitos não apresentou diferenças significativa ($X^2= 0,0362$; $df=1$; $p = 0,8491$). A comparação entre a razão sexual de mosquitos emergidos dos controles e dos tratamentos com *T. tenuis*, não foi significativa ($X^2= 1,1279$; $df = 1$; $p = 0,2882$). Ao longo do experimento a taxa de sobrevivências das pupas foi de 90%.

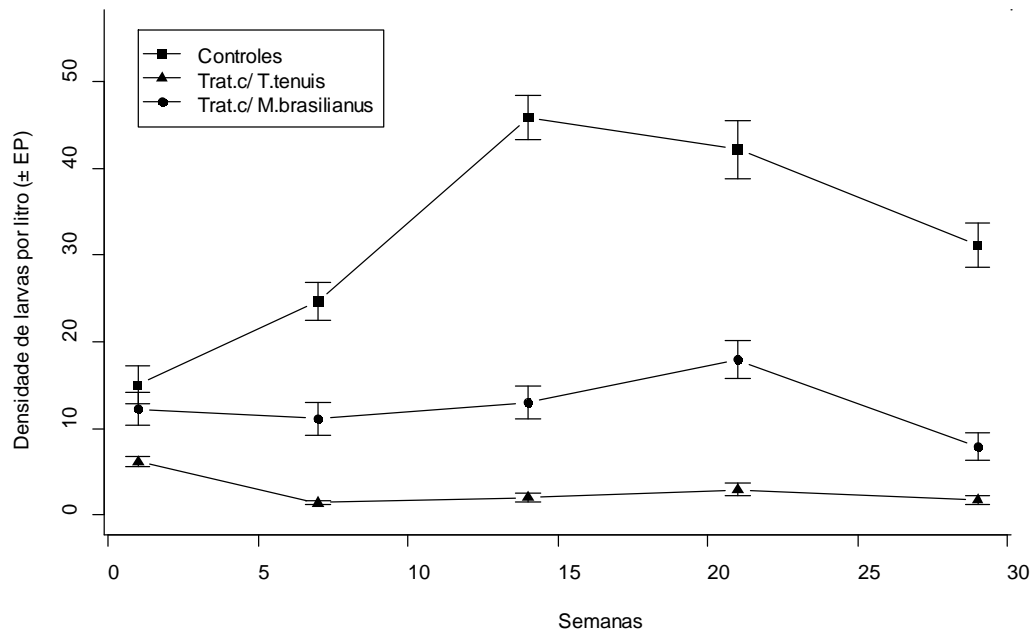


Figura 6: Densidade média (\pm EP) de larvas de *Aedes albopictus* por litro durante o experimento. Tratamentos contendo *M. brasilianus* (triângulo, n=10) mantiveram as menores densidades larvais ao longo das cinco semanas de experimento em comparação ao *T. tenuis* (círculos, n=10); estando as maiores densidade concentradas nos recipientes controles (quadrados, n=10).

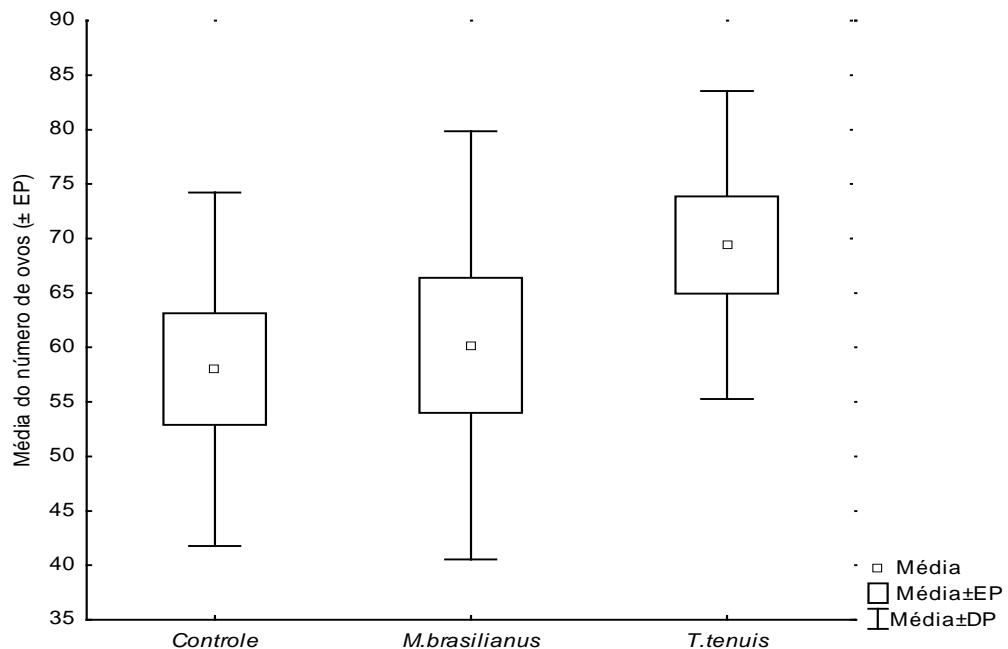


Figura 7: Média do número de ovos de *Aedes albopictus* entre os tratamentos. O resultado do teste de Tukey apontou diferenças significativas entre todos os tratamentos.

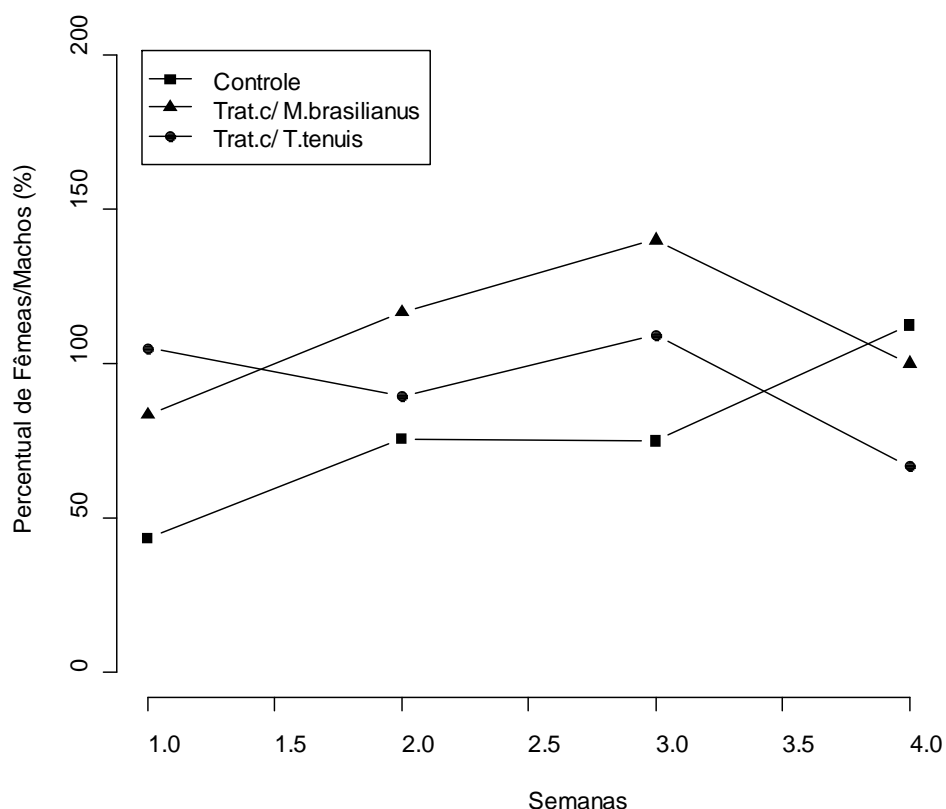


Figura 8: Percentual da variação na proporção de fêmeas por machos de *Aedes albopictus* emergidos do controle (quadrado, n=10) e daqueles emergidos dos tratamentos contendo *M. brasilianus* (triângulo, n=10) e *T. tenuis* (círculo, n=10).

M. brasilianus apresentou a maior média para o tamanho do corpo ($1,8 \pm 0,07$ SD) em comparação ao *T. tenuis* ($0,9 \pm 0,03$ SD), esta diferença entre o tamanho de corpo dos copépodos mostrou-se significativa ($t=13,113$; $df=19$; $p<0,001$) (Figura 9). A média das densidades de copépodos por litro mostrou que *M. brasilianus* atingiu densidades bem maiores ($11,45 \pm 2,64$ EP) que as observadas para *T. tenuis* ($5,66 \pm 1,60$ EP). Ao longo do experimento *M. brasilianus* apresentou pequenas variações em suas densidades com uma leve tendência de aumento ao longo do tempo, enquanto *T. tenuis* manteve densidade baixas até a quarta semana de experimento, onde se pode observar um pequeno aumento em suas densidades, o que coincidiu com a redução das densidades larvais (Figura 10). O Teste de correlação entre a densidade total do número de larvas e a densidade de copépodos mostrou-se não significativo para *M. brasilianus* (ρ de Sperman= 252,33; $p= 0,1157$), porém significativo para *T. tenuis* (ρ de Sperman=272; $p= 0,049$) (Figura 11A-B).

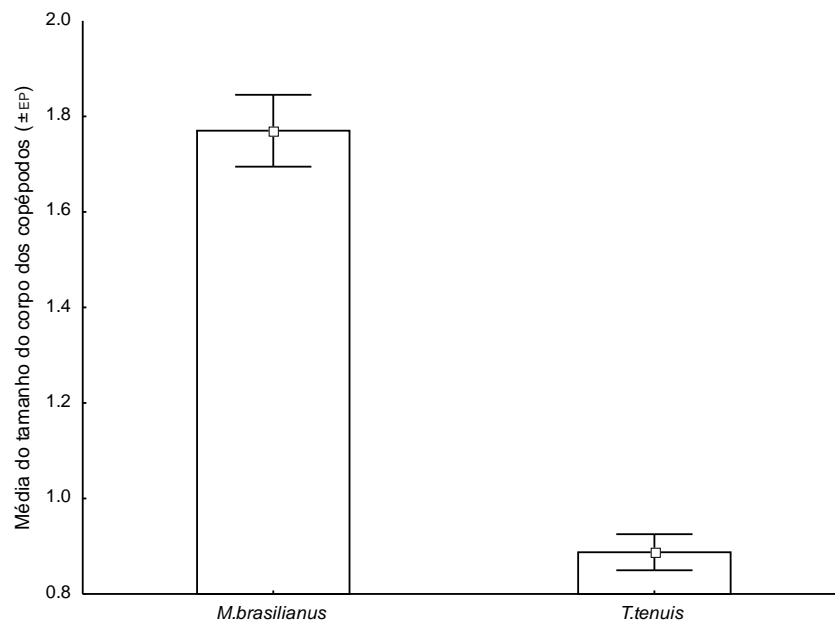


Figura 9: Diferenças entre as médias de tamanho do corpo (\pm EP) entre as duas espécies de copépodos analisadas.

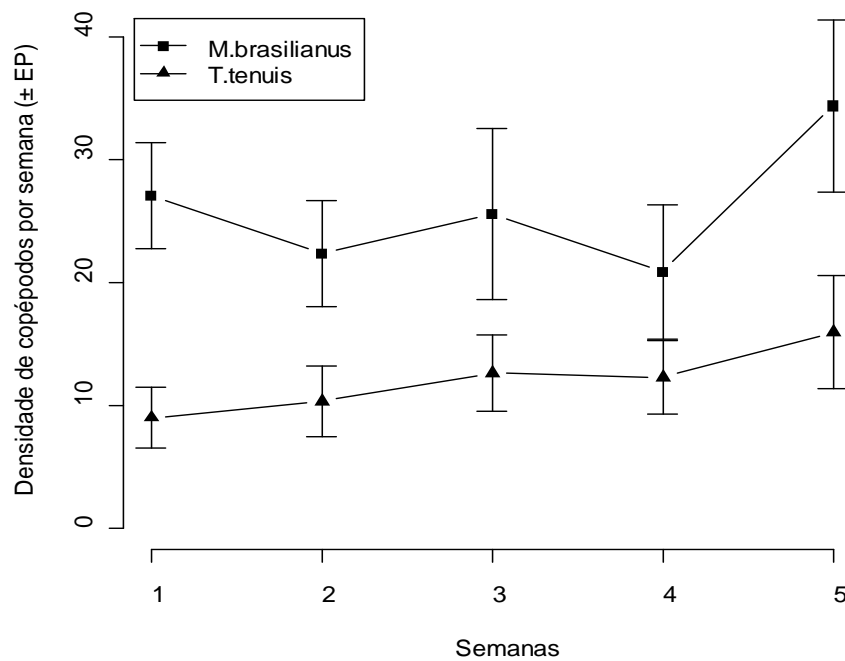


Figura 10: Variação da densidade média (\pm EP) de copépodos por litro. *M. brasiliensis* (quadrados, n=10) apresentou densidades bem mais elevadas em comparação ao *T. tenuis* (triângulos, n=10).

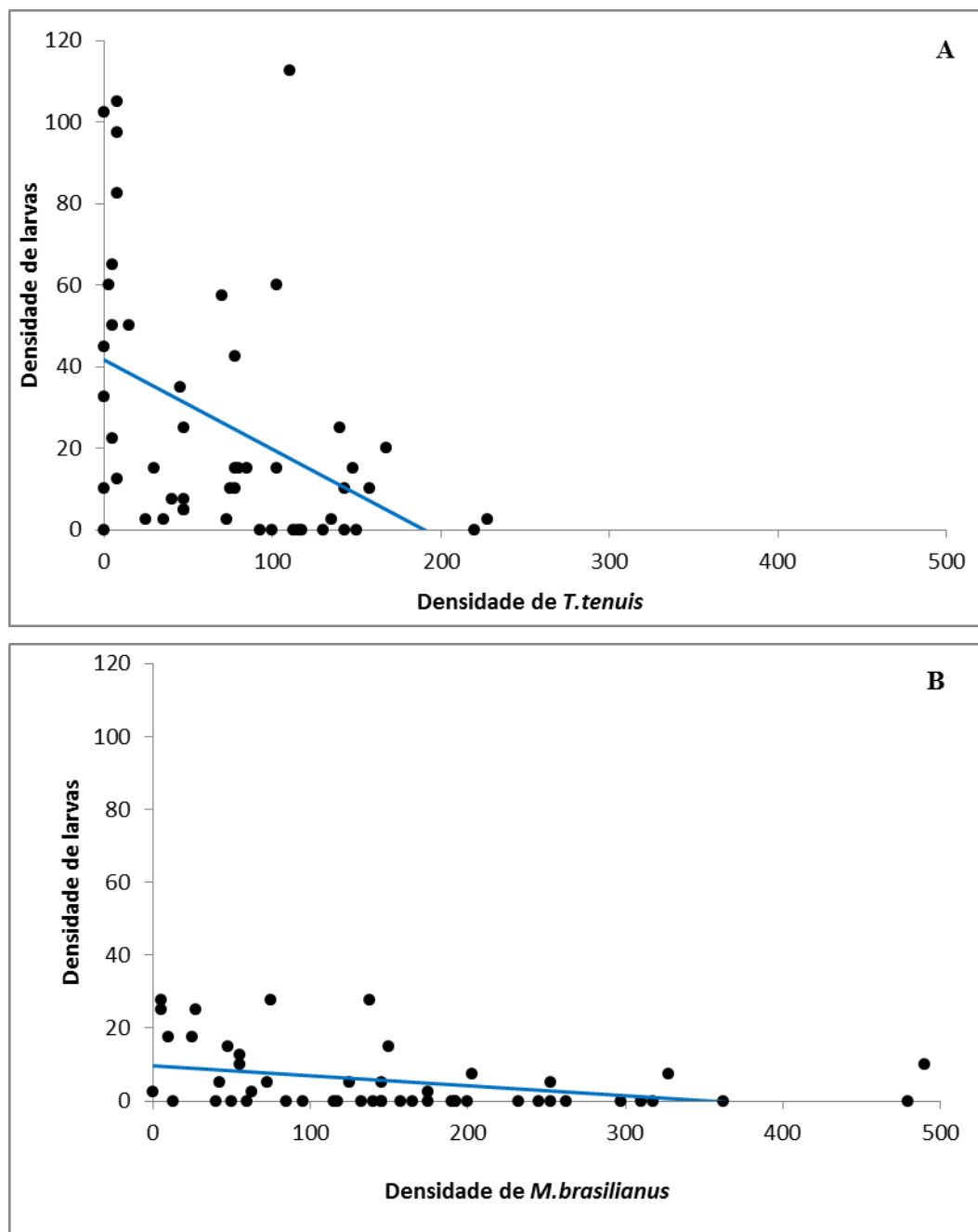


Figura 11:Correlações lineares entre as densidades totais de copépodos e as densidades totais de larvas. (A) correlação linear para as densidades de *Termocyclops tenuis*. (B) correlação linear para *Mesocyclopsbrasilianus*.

O tamanho do corpo também apresentou diferenças significativas (ANOVA, $F=18,97$; $df=2$; $p<0.001$) quando comparamos o tamanho do corpo de mosquitos que emergiram de tratamentos contendo copépodos com aqueles emergidos dos controles. As médias de comprimento do corpo de mosquitos emergidos dos tratamentos contendo *M.*

brasilianus ($2,42 \pm 0,053$ EP) mostrou-se a maior dentre os tratamentos, seguido de *T. tenuis* ($2,48 \pm 0,024$ EP). A menor média do tamanho do corpo foi observada para mosquitos emergidos dos controles ($2,27 \pm 0,021$ EP).

Machos e fêmeas também apresentaram diferenças significativas, podendo-se perceber que fêmeas emergidas dos recipientes contendo *T. tenuis* foram menores ($2,66 \pm 0,03$ EP) quando comparadas com fêmeas emergidas dos tratamentos com *M. brasilianus* ($2,66 \pm 0,059$ EP) e de recipientes controles ($2,45 \pm 0,03$ EP). Esta diferença entre o tamanho de fêmeas emergidas dos tratamentos foi significativa (ANOVA, $F=12,27$; $df=2$; $p<0,001$). Diferenças também significativa foram observadas para o tamanho do corpo dos machos (ANOVA, $F=10,390$; $df=2$; $p<0,001$), onde foi verificado que machos emergidos de recipientes com *T. tenuis* são maiores ($2,31 \pm 0,02$ EP) do que os machos encontrados nos tratamentos com *M. brasilianus* ($2,12 \pm 0,049$ EP) e controles ($2,13 \pm 0,02$ EP) (Figuras 12-13).

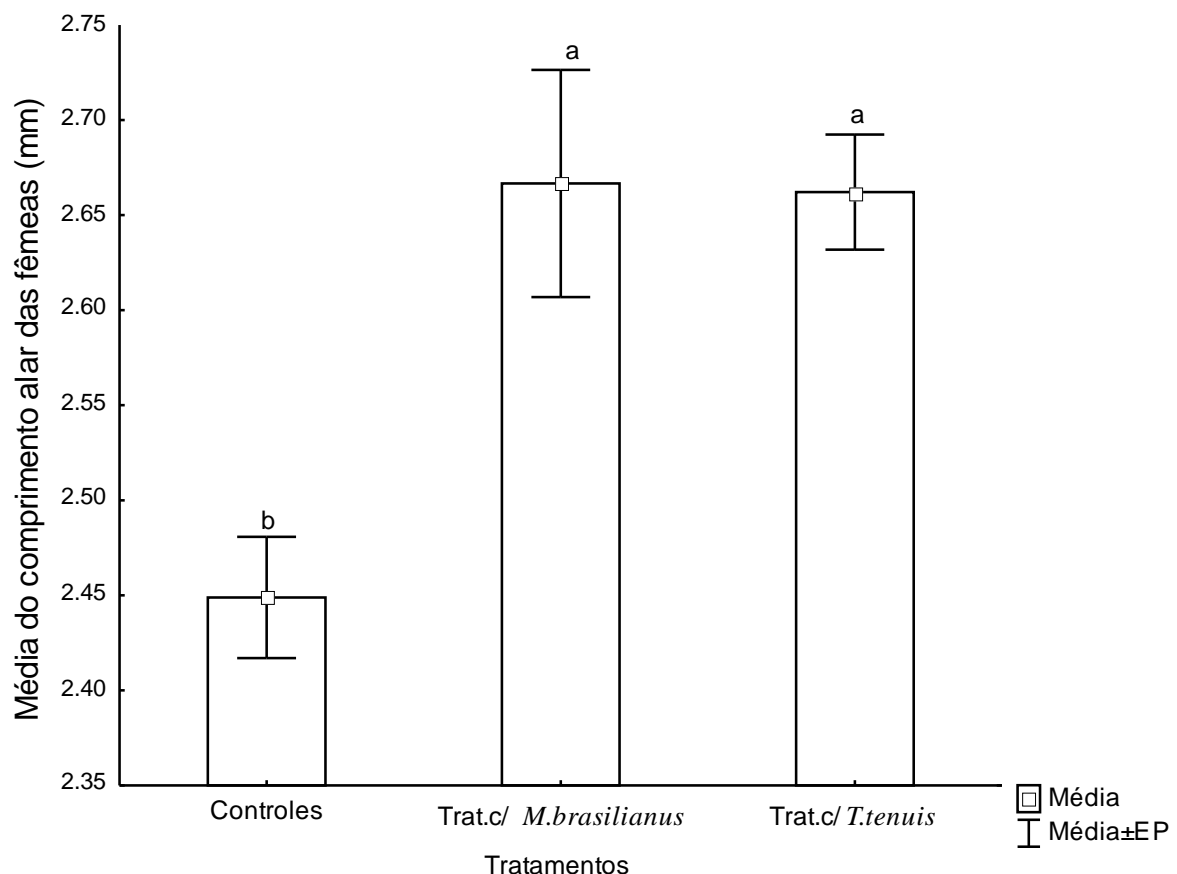


Figura 12: Média do tamanho do corpo de *Aedes albopictus* estimada a partir do comprimento alar. Tratamentos marcados pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

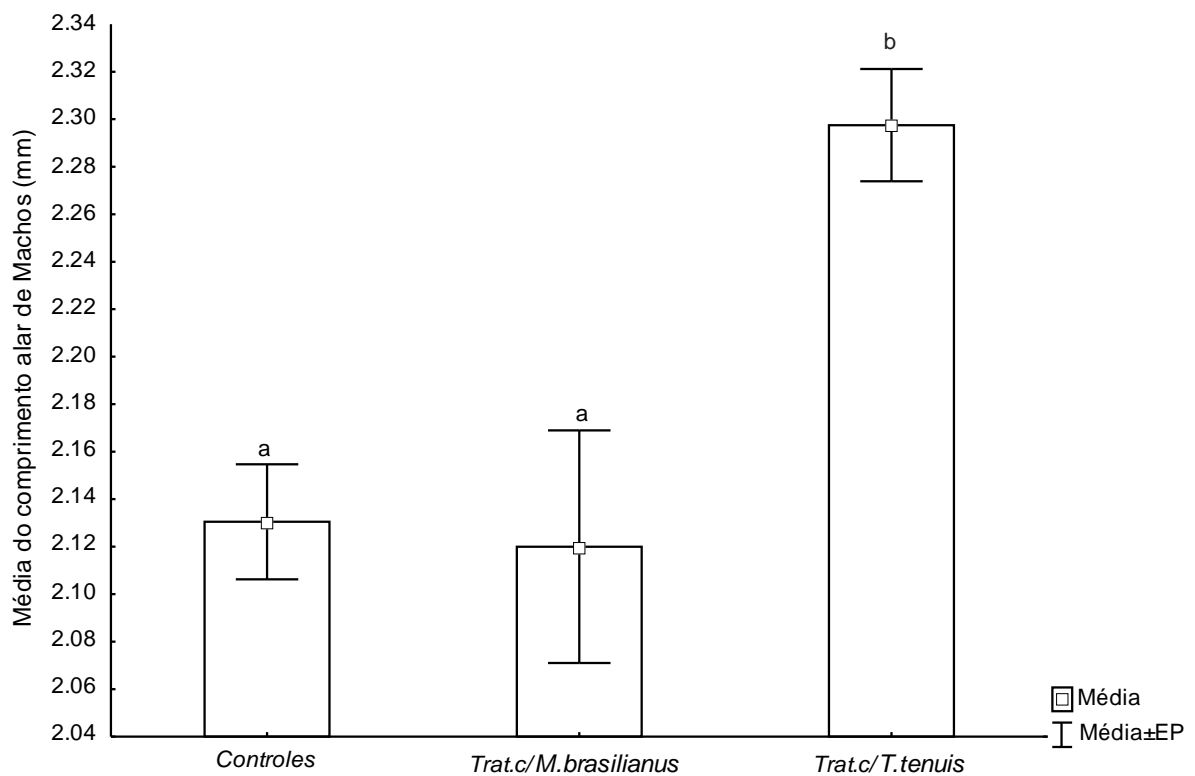


Figura 13: Média do tamanho do corpo de mosquitos estimada a partir do comprimento alar. Tratamentos marcados pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5. Discussão

Durante a realização do experimento o copépodo *M. brasilianus* demonstrou ser um controlador biológico mais eficiente quando comparado com *T. tenuis*. A eficiência apresentada por este copépodo é semelhante às já encontrados para outras espécies deste gênero, onde as taxas de predação são iguais ou superiores 90% (Marten *et al.* 1994; Marten & Reid 2007; Santos & Andrade 1997; Santos *et al.* 1996). Marten *et al.* (1994) apontam espécies pertencentes ao gênero *Thermocyclops* como algumas das espécies menos eficientes como controladores de larvas. Tal discussão sobre a eficiência destas duas espécies pode estar relacionada a diferença de tamanhos observada para estas espécies. De acordo com Marten & Reid (2007) copépodos com tamanho de corpo menor que 1,4 são considerados pouco eficientes como controladores biológicos.

Correlações significativas não foram observadas entre a densidade média de larvas e *M. brasilianus*, possivelmente devido as suas altas taxas de predação independentes

das densidades, porém as correlações entre *T. tenuis* e o número de larvas mostraram-se significativas. Estes resultados podem indicar que densidades elevadas sejam um fator bem mais relevante para as espécies de copépodos com menor tamanho do corpo do que para espécies maiores. Faria *et al.*(2008), observou que as taxas de predação de *Mesocyclops longisetus*, sobre alevinos de pacu, aumentaram em função do aumento das densidades elevadas deste copépodo. Em seus trabalhos sobre a relação predador-presa, Pernía *et al.* (2007) demonstraram que apesar da diferença no tamanho do corpo; *Mesocyclops meridianus* e *M. longisetus* apresentaram o mesmo potencial de predação sobre larvas *Anopheles aquasalis*. Trabalhos que avaliam a predação de copépodos sobre zooplâncton têm encontrado diferentes razões de predação em função das estratégias de predação e dos mecanismos de defesa das presas, além das diferenças de tamanho (Chang & Hanazato 2003; Lapesa *et al.* 2002; Williamson 1980).

Nenhuma alteração significativa foi observada na razão sexual de mosquitos ao longo do experimento. O maior número de machos emergidos dos recipientes controles não representou uma variação significativa na razão sexual, mesmo quando as proporções observadas são comparados com as proporções esperadas (1:1) (Gilchrist & Haldane 1947; Hickey & Craig Jr 1966). No entanto, a que se destacar que, nos tratamentos contendo as duas espécies de copépodos, o número de fêmeas foi maior que o número de machos, muito embora estas diferenças não tenham sido significativas.

Uma explicação para o maior número de machos de *Ae. albopictus* encontrados nos recipientes controle, estaria relacionada às densidades larvais mais elevadas observadas nos recipientes controles. Alterações na razão sexual de *Culex pipiens* com desvio para machos foram encontradas em função de elevadas densidades (>30 larvas) (Alto *et al.* 2012). Edgerly & Livdahl (1992) demonstraram em seus trabalhos que o tempo de eclosão de fêmeas de *Ae. triseriatus* ocorreu tardiamente especialmente sobre densidades médias e elevadas. Hard *et al.* (1989) também encontraram proporções da razão sexual de *Ae. geniculatus* que variaram de 0,00 a 0,66; o declínio das proporções de fêmeas foi atribuído à altas densidades e baixa quantidade de alimentos.

No entanto, machos e fêmeas de mosquito apresentam tempo de desenvolvimento diferentes (Bedhomme *et al.* 2003), onde fêmeas de mosquitos investem mais esforços para aumentar o tamanho do corpo permanecendo por um maior período de tempo no ambiente (Alto *et al.* 2005). Desse modo, fêmeas de mosquitos estariam expostas a predação do *M.*

brasilianus por um maior período de tempo, o que teria resultado em maiores taxas de predação, visto que mesmo o maior tamanho das fêmeas pode não representar um mecanismo de defesa eficiente contra predadores maiores como *M. brasilianus*.

As diferenças observadas no tamanho do corpo de mosquitos emergidos de recipientes contendo *T. tenuis* e *M. brasilianus*, também podem ser explicadas pelas menores densidades de larvas e conseqüentemente pela menor competição intraespecífica nos recipientes. Alguns experimentos têm demonstrando a redução no tamanho do corpo de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* em função das densidades e disponibilidade de recursos (Beserra *et al.* 2009; Serpa *et al.* 2008). Resultados semelhantes foram encontrados por Agnew *et al.* (2000), em seus trabalhos com *Culex quinquefasciatus*. Estes e outros trabalhos tem apontado a densidade com um dos principais fatores que influenciam não somente o tamanho dos mosquitos, mas também outros aspectos da história de vida dos mosquitos como: sobrevivência, reprodução, número de ovos por postura, susceptibilidade de infecção e capacidade vetorial (Agnew *et al.* 2000; Alto *et al.* 2005; Beserra *et al.* 2009; Gama *et al.* 2005; Teng & Apperson 2000).

Assim como em outros trabalhos, a diferença entre o percentual de redução de larvas para *M. brasilianus* e *T. tenuis*, parece estar positivamente correlacionada ao tamanho das espécies. Este trabalho corrobora com trabalhos anteriores que demonstram a eficiência de copépodos do gênero *Mesocyclops* como controladores biológicos de larvas em comparação aos do gênero *Thermocyclops*; sendo este um dos primeiros trabalhos a demonstrar o potencial de predação de *M. brasilianus*. A significativa correlação entre as densidades de larvas e de copépodos, sugere que a densidade seja uma fator importante para espécies de copépodo com um menor tamanho de corpo como o *T. tenuis*, mas não para espécies maiores como o *M. brasilianus*. Nenhuma diferença significativa foi observada para razão sexual dos mosquitos. Entretanto, o maior tamanho de corpo observado para mosquitos emergidos de recipientes contendo copépodos, pode representar um fator negativo para o uso de copépodos. Experimentos futuros devem ser realizados para verificas as conseqüências destas variações para a ecologia e capacidade vetorial do *Ae. albopictus*.

6. Referências Bibliográficas

- Agnew, P., C. Haussy & Y. Michalakis, 2000. Effects of density and larval competition on selected life history traits of *Culex pipiens quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology* 37(5):732-735.
- Alto, B., E. Muturi & R. Lampman, 2012. Effects of nutrition and density in *Culex pipiens*. *Medical and Veterinary Entomology* 2(146):300-310.
- Alto, B. W., M. W. Griswold & L. P. Lounibos, 2005. Habitat complexity and sex-dependent predation of mosquito larvae in containers. *Oecologia* 146(2):300-310.
- Bedhomme, S., P. Agnew, C. Sidobre & Y. Michalakis, 2003. Sex-specific reaction norms to intraspecific larval competition in the mosquito *Aedes aegypti*. *Journal of Evolutionary Biology* 16(4):721-730.
- Beserra, E. B., C. R. M. Fernandes & P. S. Ribeiro, 2009. Relação entre densidade larval e ciclo de vida, tamanho e fecundidade de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) em laboratório. *Neotropical Entomology* 38:847-852.
- Beserra, E. B., C. R. M. Fernandes & P. S. Ribeiro, 2009. Relação entre densidade larval e ciclo de vida, tamanho e fecundidade de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) em Laboratório. *Neotropical Entomology* 38(6):847-852.
- Chang, K. H. & T. Hanazato, 2003. Vulnerability of cladoceran species to predation by the copepod *Mesocyclops leuckarti*: laboratory observations on the behavioural interactions between predator and prey. *Freshwater Biology* 48(3):476-484.
- Edgerly, J. S. & T. P. Livdahl, 1992. Density-dependent interactions within a complex life cycle: the roles of cohort structure and mode of recruitment. *Journal of Animal Ecology*:139-150.
- Faria, A. C. E. A., C. Hayashi & C. M. Soares, 2008. Predação de larvas de pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg) por copépodes ciclopóides (*Mesocyclops longisetus*, Thiébaud) em diferentes densidades e ambientes e com diferentes contrastes visuais. *Acta Scientiarum Biological Sciences* 23(0):497-502.
- Gama, R. A., K. Alves, R. F. Martins, A. Eiras & M. Resende, 2005. Efeito da densidade larval no tamanho de adultos de *Aedes aegypti* criados em condições de laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 34:64-66.

- Gilchrist, B. M. & J. B. S. Haldane, 1947. Sex linkage and sex determination in a mosquito, *Culex molestus*. *Hereditas* 33(1-2):175-190.
- Hard, J. J., W. E. Bradshaw & D. J. Malarkey, 1989. Resource-and density-dependent development in tree-hole mosquitoes. *Oikos*:137-144.
- Hickey, W. A. & G. B. Craig Jr, 1966. Genetic distortion of sex ratio in a mosquito, *Aedes aegypti*. *Genetics* 53(6):1177-1196.
- Holynska, M., 2006. Phylogeny of *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopidae) inferred from morphological characters. *Zoological Journal of the Linnean Society* 147(1):1-70.
- Kumar, R. & T. Ramakrishna Rao, 2003. Predation on mosquito larvae by *Mesocyclops thermocyclopoides* (Copepoda: Cyclopoida) in the presence of alternate prey. *International review of hydrobiology* 88(6):570-581.
- Lapesa, S., T. Snell, D. Fields & M. Serra, 2002. Predatory interactions between a cyclopoid copepod and three sibling rotifer species. *Freshwater Biology* 47(9):1685-1695.
- Marten, G. G., R. Astaiza, M. F. Suarez, C. Monje & J. W. Reid, 1989. Natural control of larval *Anopheles albimanus* (Diptera: Culicidae) by the predator *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopoida). *Journal of medical entomology* 26(6):624-627.
- Marten, G. G., E. S. Bordes & M. Nguyen, 1994. Use of cyclopoid copepods for mosquito control. *Hydrobiologia* 292(1):491-496.
- Marten, G. G., G. Borjas, M. Cush, E. Fernandez & J. W. Reid, 1994. Control of larval *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) by cyclopoid copepods in peridomestic breeding containers. *Journal of medical entomology* 31(1):36-44.
- Marten, G. G. & J. W. Reid, 2007. Cyclopoid copepods. *Jornal Americam Mosquitoes Control Association* 23(2):65-92.
- Micieli, M. V., G. Marti & J. J. García, 2002. Laboratory evaluation of *Mesocyclops annulatus* (Wierzejski, 1892)(Copepoda: Cyclopidea) as a predator of container-breeding mosquitoes in Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 97(6):835-838.
- Nam, V. S., T. Y. Nguyen, B. H. kay, G. G. Marten & J. W. Reid, 1998. Eradication of *Aedes aegypti* from a village in Vietnam, using copepods and community participation. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 59(4):657-660.
- Nam, V. S., N. T. Yen, T. V. Phong, T. U. Ninh, M. Le Quyen, L. Le Viet, A. Bektas, a. Briscoombe, J. G. Aaskov & P. A. Ryan, 2005. Elimination of dengue by

- community programs using *Mesocyclops* (Copepoda) against *Aedes aegypti* in central Vietnam. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 72(1):67-73.
- Pernía, J., E. N. Z. d. Roa & M. Palacios-Cáceres, 2007. Prey-predator relationship between the cyclopoids *Mesocyclops longisetus* and *Mesocyclops meridianus* with *Anopheles aquasalis* larvae. *Journal of the American Mosquito Control Association* 23(2):166-171.
- R_Development_Core_Team, 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Ramakrishna Rao, T. & R. Kumar, 2002. Patterns of prey selectivity in the cyclopoid copepod *Mesocyclops thermocyclopoides*. *Aquatic Ecology* 36(3):411-424.
- Rivière, F., B. Kay, J. M. Klein & Y. Séchan, 1987. *Mesocyclops aspericornis* (Copepoda) and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* for the biological control of *Aedes* and *Culex* vectors (Diptera: Culicidae) breeding in crab holes, tree holes, and artificial containers. *Journal of medical entomology* 24(4):425-430.
- Santos, L. U. & C. F. S. Andrade, 1997. Survey of cyclopids (Crustacea, Copepoda) in Brazil and preliminary screening of their potential as dengue vector predators. *Revista de Saúde Pública* 31(3):221-226.
- Santos, L. U., C. F. S. Andrade & G. A. Carvalho, 1996. Biological control of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) larvae in trap tyres by *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopidae) in two field trials. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 91(2):161-162.
- Serpa, L. L. N., I. Kakitani & J. C. Voltolini, 2008. Competição entre larvas de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* em laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 41(5):479-484.
- Silva, W., 2008. Diversity and distribution of the free-living freshwater Cyclopoida (Copepoda: Crustacea) in the Neotropics. *Brazilian Journal of Biology* 68(4):1099-1106.
- Silva, W. & T. Matsumura-Tundisi, 2005. Taxonomy, ecology, and geographical distribution of the species of the genus *Thermocyclops* Kiefer, 1927 (Copepoda, Cyclopoida)

- in São Paulo State, Brazil, with description of a new species. *Brazilian Journal of Biology* 65(3):521-531.
- Suárez-Morales, E., M. A. Gutiérrez-Aguirre & F. Mendoza, 2011. The Afro-Asian cyclopoid *Mesocyclops aspericornis* (Crustacea: Copepoda) in eastern Mexico with comments on the distribution of exotic copepods. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(1):109-115.
- Suárez-Morales, E., F. Mendoza & N. Mercado-Salas, 2010. A new *Allocyclops* (Crustacea, Copepoda, Cyclopoida) from bromeliads and records of freshwater copepods from Mexico. *Zoosystema* 32(3):393-407.
- Suarez-Rubio, M. & M. F. Suarez, 2004. The use of the copepod *Mesocyclops longisetus* as a biological control agent for *Aedes aegypti* in Cali, Colombia. *Journal of the American Mosquito Control Association* 20(4):401-404.
- StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.
- Teng, H. J. & C. S. Apperson, 2000. Development and survival of immature *Aedes albopictus* and *Aedes triseriatus* (Diptera: Culicidae) in the laboratory: effects of density, food, and competition on response to temperature. *Journal of medical entomology* 37(1):40-52.
- Torres-Estrada, J. L., M. H. Rodríguez, L. Cruz-López & J. I. Arredondo-Jimenez, 2001. Selective oviposition by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in response to *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopoidea) under laboratory and field conditions. *Journal of medical entomology* 38(2):188-192.
- Williamson, C. E., 1980. The predatory behavior of *Mesocyclops edax*: Predator preferences, prey defenses, and starvation-induced changes. *Limnology and Oceanography*:903-909.
- StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

CAPITULO III

**Primeiro registro de ocorrência edistribuição
potencial do copéodo invasor *Mesocyclops ogunnus*
Onabamiro 1957 (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida)
para o nordeste do Brasil**

Resumo

Primeiro registro de ocorrência do *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro 1957 (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida) para o nordeste do Brasil e estudo da distribuição potencial dessa espécie invasora no Brasil

O *Mesocyclops ogunnus* é uma espécie invasora encontrada em diversos reservatórios de água doce. Este trabalho teve o objetivo de apontar por meio de modelagem de nichos ecológicos a distribuição do *M. ogunnus* para o Brasil. O modelo obtido a partir do método Maxentt, revelou que a distribuição do *M. ogunnus* está principalmente relacionada a variações na temperatura e precipitações durante o período seco. O presente trabalho também registra sua ocorrência no nordeste do Brasil pela primeira vez. Os resultados mostraram ainda que a distribuição desta espécie pode estar relacionada a grandes cursos de água, a medida que os resultados apontaram uma coincidência da distribuição desta espécie com três das maiores bacias hidrográficas do Brasil. Estes resultados mostram-se importantes, pois sugerem não somente um aumento na distribuição geográfica desta espécie, mas também prediz as possíveis áreas que podem ser consideradas regiões de altas probabilidades de ocorrência deste copépodo.

Palavras-chave: *Mesocyclops ogunnus*, copépodo, distribuição.

Abstract

First record of *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro 1957 (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida) on the northeast of Brazil and a study of the potential distribution of this invasive species in Brazil

The *Mesocyclops ogunnus* is considered an invasive species found in various freshwater reservoirs. This work aimed to modeling the potential distribution of *M. ogunnus* to Brazil. The model obtained with the Maxentt method revealed that the distribution of *M. ogunnus* is related to changes in temperature and precipitation during the dry period. This paper reports its occurrence in northeastern Brazil for the first time. The results also showed that the distribution of this species may be related to major waterways, the measurement results showed that the coincidence of the distribution of this species with three major hydrographic basins of Brazil. These results prove to be important, because they suggest not only an increase in the geographical distribution of this species, but also predicts the possible areas that can be considered as potential invasion of the copepod.

Key-words: *Mesocyclops ogunnus*, copepod, distribution.

1. Introdução

O gênero *Mesocyclops* Sars de 1914 está incluído na família Cyclopidae e atualmente compreende 71 espécies, (Hołyńska 2000) sendo um dos gêneros mais diversificados e bem sucedidos gêneros de copépodos ciclopoídes encontrados em águas continentais (Silva 2008; Van de Velde 1984). A maioria das espécies deste gênero são encontradas em regiões subtropicais (Holynska 2006) e zonas intertropicais, como por exemplo as espécies africanas (Mouelhi *et al.* 2000).

De acordo com Gutierrez-Aguirre & Suares-Morales (2001) 21 espécies e subespécies do gênero *Mesocyclops* têm sido descritos para a região neotropical, e destas, 15 foram relatados para o Brasil: *M. annulatus* Wierzejski, 1892; *M. annulatus diversus* Herbst, 1962; *M. aspericornis* Daday, 1906; *M. brasiliensis* Kiefer, 1933; *M. ellipticus* Kiefer, 1936; *M. finitimus* Silva, 1989; *M. kieferi* Van de Velde, 1984; *M. leuckarti* Claus, 1857; *M. longisetus* Thiébaud, 1912; *M. longisetus curvatus* Dussart, 1987; *M. longisetus longisetus* Thiebaud, 1914; *M. meridianus* Kierfer, 1926; *M. meridionalis* Dussart e Frutos, 1985; *M. ogunnus* Onabamiro de 1957 (Figura 14), e *M. paranaensis* Dussart & Frutos, 1985 (Lansac-tôha *et al.* 2002; Matsumura-Tundisi & Silva 2002; Rocha & Botelho 1998).

O *M. ogunnus* é de origem Afro-Asiática (Hołyńska 2000; Van de Velde 1984), mas foi registrado em outros continentes, provavelmente devido a eventos de invasão. No continente Africano, esta espécie tem sido relatada na Nigéria (Onabamiro 1957; Oronsaye 2008), Tunísia (Mouelhi *et al.* 2000), Benin, Egito, Costa do Marfim, Senegal, Burkina Faso, Quênia, Mali, Mauritânia, Moçambique, Chade, África do Sul, e Etiópia (Van de Velde 1984). Mouelhi *et al.* (2000) efetuaram registros desta espécie na Ásia em: Israel, Bangladesh, Uzbequistão, Laos, Sri Lanka, Filipinas, Vietnã e China. Registros de ocorrência da espécie também têm sido relatados nas Américas, na Flórida (Reid & Hribar 2006) América Central (Suárez-Morales *et al.* 2004) e Brasil (Reid & Pinto-Coelho 1994).

No Brasil, esta espécie foi encontrada nas regiões centro-oeste, sudeste e sul do país nos Estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Paraná (González & Tundisi 2008; Lansac-Tôha *et al.* 2002; Matsumura-Tundisi & Silva 2002; Peixoto *et al.* 2010; Santos-Wisniewski & Rocha 2007; Silva 2011). O primeiro registro da espécie para o Brasil, como *M. ogunnus*, foi em 1993, no reservatório de Furnas, na região sul do Estado de Minas Gerais (Reid & Pinto-Coelho 1994; Reid & Hribar 2006). Segundo Matsumura-Tundisi

e Silva (2002) esta espécie foi descrita erroneamente no Estado de São Paulo como *M. kieferi* em algumas pesquisas (Nogueira 2001). Em um trabalho posterior Matsumura-Tundisi & Silva (2002) corrigiram a sua identificação para *M. ogunnus*.



Figura 14: Fêmea de *M. ogunnus* com dois sacos ovíferos. Foto: C. Liberal.

M. ogunnus tem um histórico de invasões relativamente recentes no Brasil (Lansac-tôha *et al.* 2002; Reid & Hribar 2006) e, segundo Matsumura-Tundisi & Silva (2002) e Reid & Pinto-Coelho (1994), esta espécie pode ter sido introduzida no reservatório de Furnas com estoques de tilápias (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) importados da África. As tilápias foram introduzidas pela primeira vez no Brasil nas décadas de 70 e 80, pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), no Estado do Ceará (região nordeste) e por empresas hidrelétricas nos estados de São Paulo e Minas Gerais (regiões sul e sudeste) (Simões *et al.* 2007). No entanto, Reid & Pinto Coelho (1994) (Reid & Pinto-Coelho 1994) salientaram que “os meios de introdução de algumas espécies de copépodes, como no caso de *M. ogunnus* e *M. kieferi*, permanecem como mais uma questão para especulação”.

Esta espécie tem sido encontrada e descrita como uma espécie dominante em reservatórios eutrofizados (Matsumura-Tundisi & Silva 2002; Peixoto *et al.* 2010) onde estão geralmente associados à macrófitas (Lansac-Tôha *et al.* 2002). Embora *M. ogunnus* esteja comumente associado à água doce, este também pode ser encontrado em ambientes de água salgada ou salobra, esta característica parece ser um dos fatores adaptativos que tem contribuído para a dispersão deste organismo por diversos ambientes (Bonou *et al.* 1991; Guo 2000; Guo 2000; Van de Velde 1984).

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Fornecer novas informações sobre o atual status de distribuição e apresentar com base em modelos preditivos de nicho as possíveis áreas de ocorrência do *M. ogunnus* no Nordeste do Brasil.

2.2. Objetivos específicos

✓ Efetuar novo registro de ocorrência do *M. ogunnus* para o Estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil;

✓ Estimar, por meio da elaboração de técnica de modelagem de nicho, as áreas com maior probabilidade de ocorrência do *M.ogunnus* para o Nordeste do Brasil.

3. Materiais e métodos

Coletas em campo

Coletas para obtenção de copépodos foram realizadas em maio de 2009, na área de Três Lagoas (7° 9'56 0,54" S e 34° 53'44" O) em João Pessoa, Estado da Paraíba. A amostragem foi realizada efetuando-se arrastos horizontais ao longo das margens, utilizando uma rede de zooplâncton (100 µm de malha). Após a coleta de material, parte das amostras foram conservadas em formaldeído 3%. Depois de identificados os espécimes foram registrados (UFPB.CRUST - 2397) e depositados na Coleção de Invertebrados Paulo Young (CIPY) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Registros de ocorrência

Vinte e um registros de ocorrência do *M. ogunnus* foram realizados para o Brasil nos últimos 19 anos. Dados de ocorrência da espécie foram compilados com base em registros da literatura sobre a distribuição desta espécie no Brasil. Apenas o registro de ocorrência para a região nordeste, Estado da Paraíba foi proveniente de Coleção de Invertebrados Paulo Young (CIPY) da Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

Modelagem de nichos

A modelagem preditiva de nichos foi elaborada a partir do método Maxent. Por meio deste método a distribuição de uma espécie é representada como uma probabilidade de distribuição de uma dada espécie sobre um determinado conjunto de sítios em uma área de estudo que correlaciona a presença de espécies com características do ambiente (Phillips *et al.* 2006). Para a elaboração dos modelos foi utilizado o software Maxent ver 3.3.3e (Phillips *et al.* 2010). O método Maxent tem se mostrado o mais apropriado em situações onde os dados de distribuição das espécies são incompletos (Elith *et al.* 2011; Phillips & Dudík 2008).

Dados abióticos

As variáveis abióticas foram obtidas por meio de base de dados disponível no site: <http://www.worldclim.org/>. As variáveis climáticas utilizadas para predição dos modelos foram: temperatura média anual; média faixa diurna (média mensal de (temperatura max. - temperatura min.)); isothermalidade; sazonalidade da temperatura = (desvio padrão * 100); temperatura máx. do mês mais quente; temperatura mín. do mês mais frio; temperatura anual; temperatura média dos meses mais úmidos; temperatura média do trimestre mais seco; temperatura média do mais quente; temperatura média do mês mais frio; precipitação anual;

precipitação do mês mais chuvoso; precipitação do mês mais seco; sazonalidade; precipitação (coeficiente de variação); precipitação do mês mais úmido; precipitação do trimestre mais seco e precipitação.

4. Resultados

O presente trabalho registra pela primeira vez a ocorrência de *M. ogunnus* no Estado da Paraíba e também para toda a região Nordeste. Este novo registro representa um importante aumento na distribuição desta espécie, antes descrita apenas para as regiões sul, sudeste e centro-oeste do país (Figura 15).

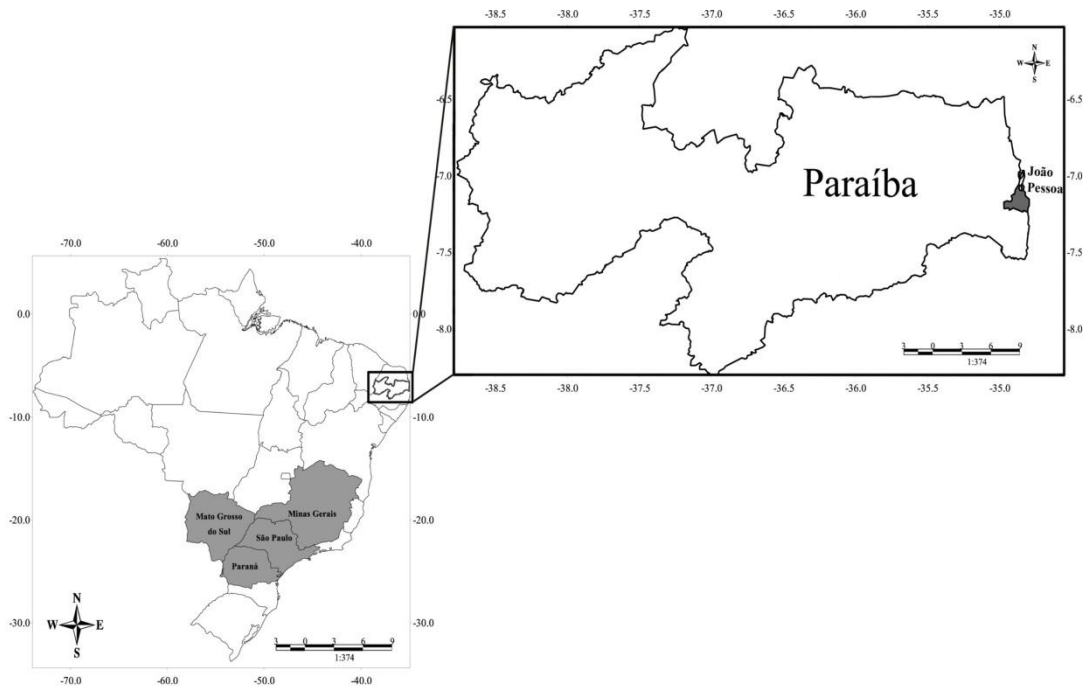


Figura 15: Distribuição geográfica de *M. ogunnus* no Brasil. As áreas sombreadas representam relatos das espécies de acordo com dados da literatura. A área expandida representa o local onde foi efetuado novo registro da espécie na região nordeste do país (João Pessoa, Estado da Paraíba).

Algumas das principais características diagnósticas do *M. ogunnus* são: a presença de uma fileira de espinhos na palpo maxilular, quinto pedígero com muitos espinhos laterais e poucos os espinhos dorsais, ausência de espinhos internos nos ramos caudais (Figura 16 A-B),

basípodito da antena ornamentada por uma fileira de espinhos na porção distal, basípodito da 4ª pata com 2 grupos de espinhos longos delgados na sua superfície posterior, e endopodite da 4ª pata com 3 espinhos terminais subequal de comprimento e espinhos ao longo da maior parte das suas margens. (Van de Velde 1984) e receptáculo seminal com amplos braços horizontais e laterais e curva alongada no canal-poro (Figura 16 C-D) (Jeje 1988; Reid & Pinto-Coelho 1994). As características dos espécimes coletados são compatíveis com as características diagnósticas da espécie.

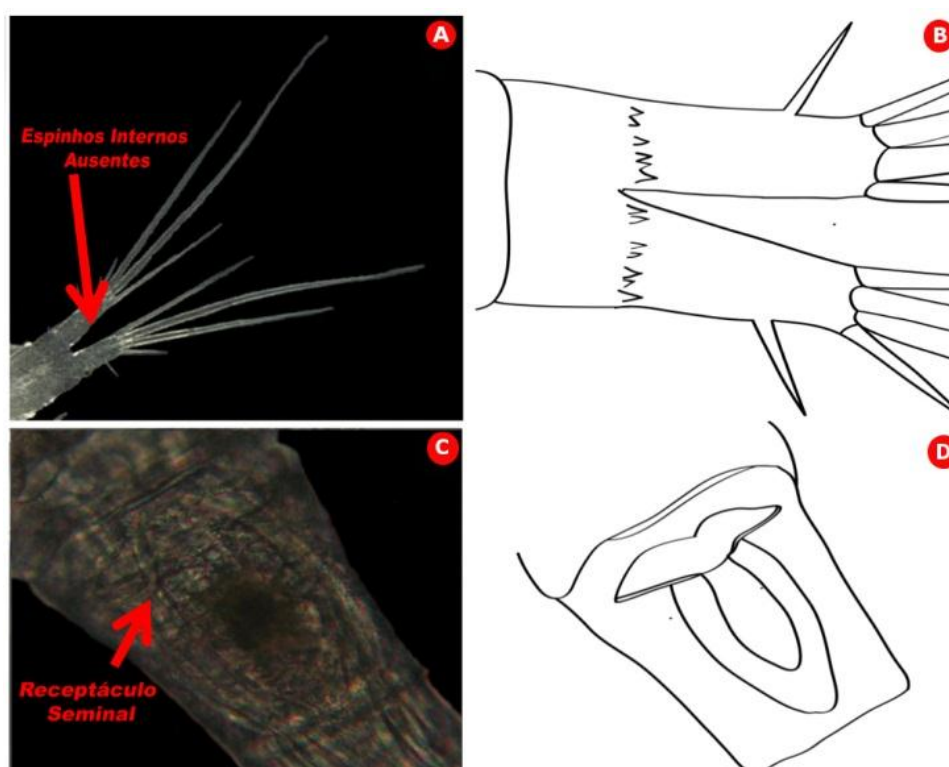


Figura 16: (A - B) Detalhe dos ramos caudais, (D - C) Detalhes do receptáculo seminal.

Com base no novo registro e em dados encontrados da literatura foi possível criar um modelo preditivo da distribuição potencial do *M. ogunnus*. Os resultados apontaram que as variáveis que estão mais correlacionadas com a ocorrência do *M. ogunnus* são: temperatura (89%) e precipitação dos meses mais secos (73%). Este resultado demonstra que estes são possivelmente os principais fatores ambientais a estarem relacionados com a distribuição do *M. ogunnus*. Apesar das variáveis não serem consideradas as mais indicadas para a elaboração deste modelo, visto que o *M. ogunnus* é um espécies exclusivamente aquática, a distribuição potencial observada mostra-se compatível com à de outras espécies desse gênero.

O modelo de distribuição mostrou que as áreas com maior probabilidade de ocorrência do *M. ogunnus* estão localizadas nas regiões: sul, sudeste e centro-oeste do país (Figura 17). O maior número de registros de ocorrência da espécie para estas localidades fazem destas regiões as áreas com maior probabilidade de ocorrência do *M. ogunnus*. Uma extensa faixa litorânea da região nordeste também pode ser apontada como uma das áreas com maior probabilidade de ocorrência para o *M. ogunnus*. As regiões norte, centro-oeste e parte da região nordeste, representada pelos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Maranhão, estão entre as áreas com menor probabilidade de ocorrência para a espécie.

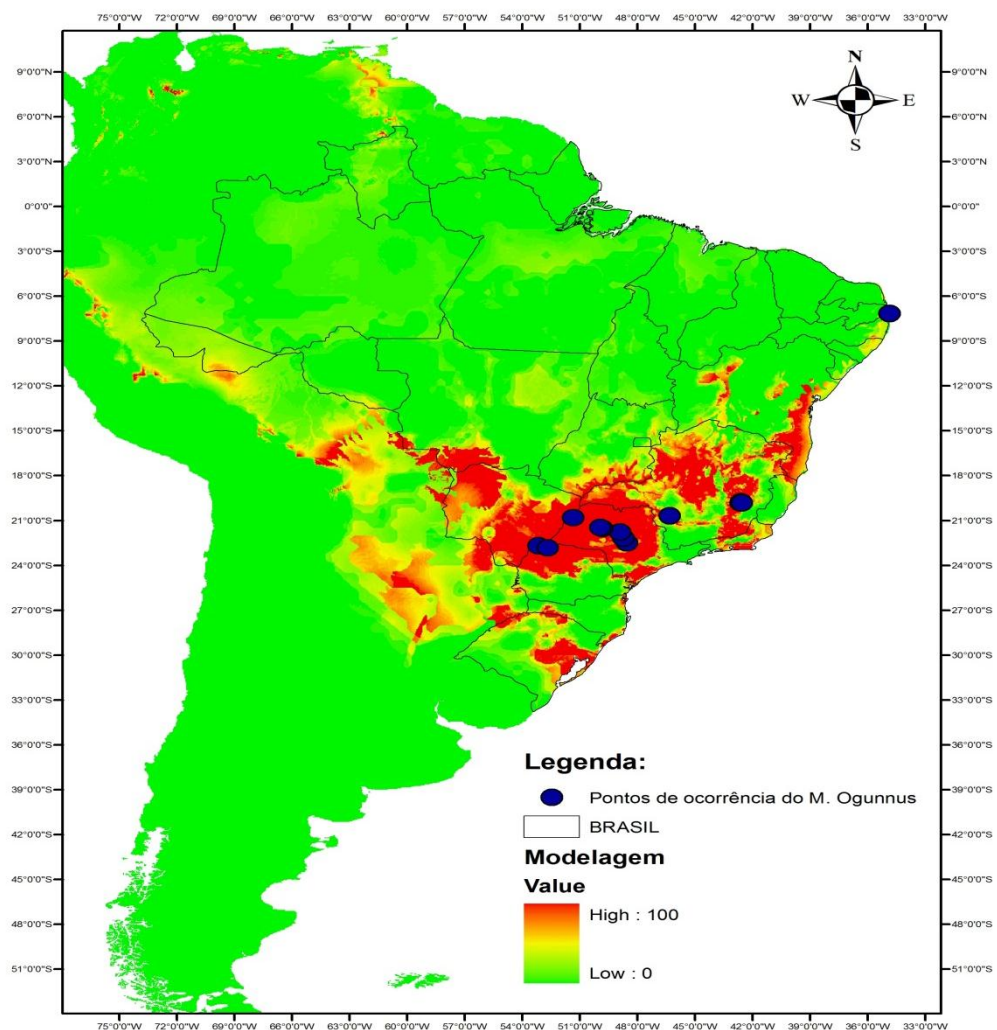


Figura 17: Modelo de preditivo para a distribuição geográfica do *M. ogunnus* no brasil. as áreas em vermelho representam áreas de maior probabilidade de ocorrência. As áreas amarelas representam uma menor probabilidade de ocorrência, enquanto que áreas verdes indicam uma probabilidade praticamente nula de ocorrência do *M. ogunnus*. Os pontos destacados em azul representam os registros de ocorrência da espécie.

Os principais pontos de ocorrência de *M. ogunnus* também foram relacionados com as áreas de abrangência das principais bacias hidrográficas das regiões onde a presença deste copépodo invasor foi confirmada. A análise do mapa demonstrou que o maior número de registros de *M. ogunnus* encontra-se, predominantemente, situados em áreas ao longo de algumas das principais bacias hidrográficas do Brasil (Figura 18), evidenciando a maior probabilidade de ocorrência desta espécie na porção central da bacia hidrográfica do Rio Paraná (área onde a espécie foi registrada pela primeira vez), ao sul da bacia hidrográfica do Rio São Francisco e em duas áreas distintas da Bacia do Atlântico Sul, trecho leste.

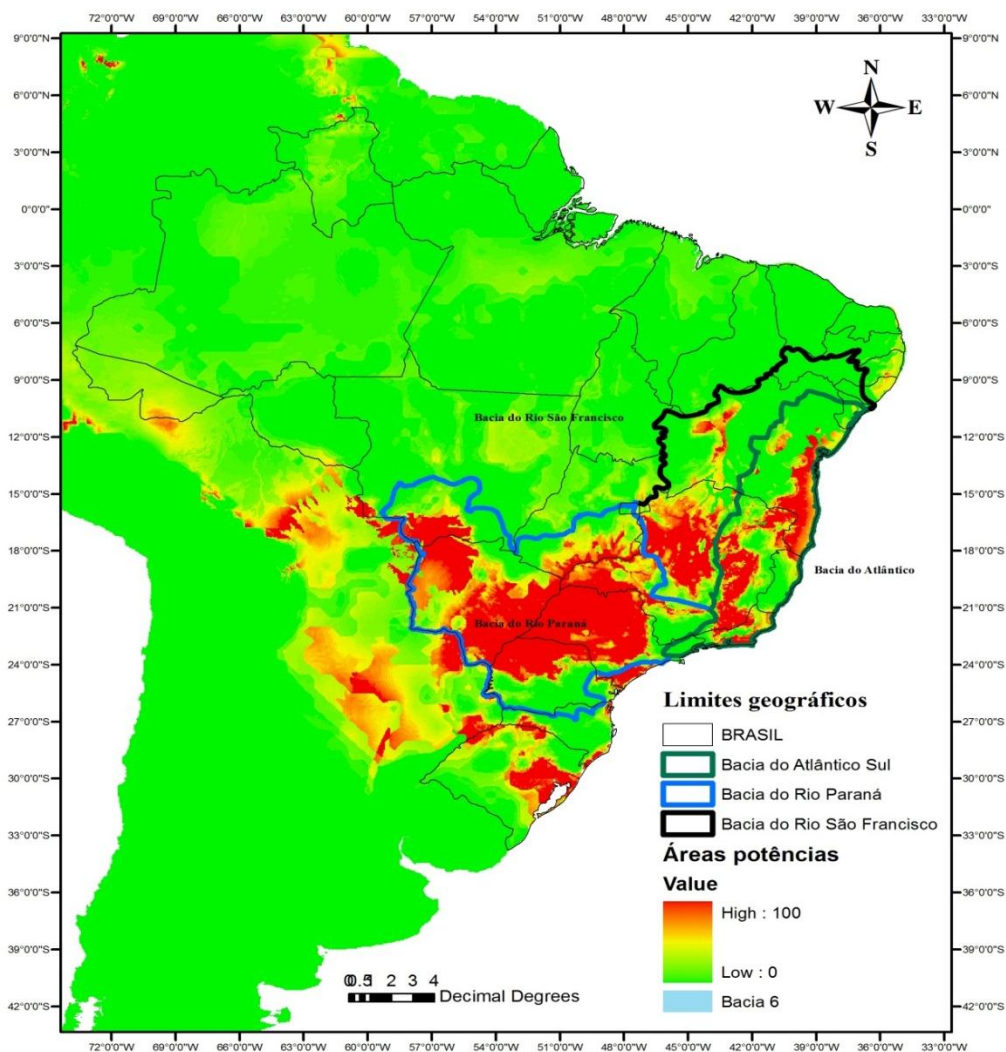


Figura 18: Modelo de distribuição do *M. ogunnus* com base nos limites geográficos das Bacias Hidrográficas do: Rio Paraná (azul), Rio São Francisco (preto) e Atlântico sul (verde).

5. Discussão

Os modelos de distribuição potencial do *M. ogunnus* para o Brasil, assim como sua possível distribuição ao longo das principais bacias hidrográficas do país, sugerem que este copépodo invasor possa apresentar uma distribuição bem mais ampla do que a que se tem registrado até o momento. Tais resultados juntamente com o novo registro de distribuição da espécie, mostram-se significativos, fornecendo novas informações acerca dos status de distribuição desta espécie invasora para o território brasileiro.

As variáveis temperatura e precipitação dos meses mais secos foram apontadas como os principais fatores relacionados à distribuição do *M. ogunnus*. Estes fatores parecem estar diretamente relacionados às características adaptativas do gênero *Mesocyclops*, dada sua enorme diversidade de espécie principalmente em regiões subtropicais (Holynska 2006) e zonas intertropicais (Mouelhi *et al.* 2000), podendo também ter importantes implicações em eventos de invasão como no caso do *M. ogunnus*.

A conexão entre corpos de água pode vir a ser um dos fatores de maior importância no processo de dispersão deste organismo (Breininger 1999), o que de certo modo explicaria perfeitamente a distribuição do *M. ogunnus* em áreas onde estão situadas três das principais bacias hidrográficas do Brasil. Este fato reforça a hipótese de que a dispersão desta do *M. ogunnus* possa estar fortemente relacionada à cursos de água. Outra hipótese para a atual distribuição do *M. ogunnus* no Brasil é de que esta esteja fortemente relacionada à introdução de tilápias em diversos reservatórios de abastecimento (Simões *et al.* 2007). Esta evidência apesar de pouco consolidada pode sugerir que a distribuição do *M. ogunnus* possa ter uma forte ligação com áreas onde as tilápias foram inicialmente introduzidas.

Possivelmente a maior probabilidade de ocorrência do *M. ogunnus* para as regiões sul, sudeste e centro-oeste do país, como observado nos mapas de distribuição, se deva ao maior número de registros ocorrência desta espécie para estas regiões. A baixa amostragem para a região nordeste dificulta a predição de áreas susceptíveis à invasão do *M. ogunnus*, ou ainda, a predição de sua distribuição para a região nordeste. Entretanto, não podemos descartar a possibilidade de que esta espécie também apresente uma ampla distribuição por vários estados da região Nordeste.

Em sua análise da fauna de copépodos de água doce do México, Suárez-Morales *et al.*(2004) observaram que sub-regiões com climas áridos fornecem bons modelos para o

estudo de dispersão. Uma limitada capacidade de dispersão poderia impedir uma espécie de encontrar outras áreas, especialmente quando estas áreas são disjuntas (Root 1998). No entanto, *M. ogunnus* tem sido apontado como uma espécie frequentemente relacionada a corpos de água com elevado grau de eutrofização, capaz de sobreviver em diferentes ambientes aquáticos, além de poder resistir a longos períodos de dissecação (Zhen *et al.* 1994). Tais características podem ser consideradas relevantes para a sobrevivência de *M. ogunnus* principalmente em regiões de clima semiárido como o nordeste brasileiro.

O registro do *M. ogunnus* para a região Nordeste, especificamente para o estado da Paraíba representa um expressivo aumento de distribuição e um forte indicativo da capacidade invasora desta espécie de copépodo em ecossistemas neotropicais. Os modelos de distribuição potenciais aqui apresentados sugerem que esta espécie esteja presente em diversos reservatórios do país. A relevância de tal registro reflete-se na importância da extensão do processo de invasão da espécie devido aos seus possíveis impactos aos ecossistemas locais.

6. Referências Bibliográficas

- Bonou, C. A., M. Pagano & L. Saint-Jean, 1991. Développement et croissance en poids de *Moina* (cf) *micrura* et de *Mesocyclops ogunnus* dans un milieu saumâtre tropical : les étangs de pisciculture de Layo (Côte d'Ivoire). *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* 24:287-303.
- Breining, D. R., 1999. Florida scrub-jay demography and dispersal in a fragmented landscape. *The Auk*:520-527.
- Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee & C. J. Yates, 2011. A statistical explanation of Maxent for ecologists. *Diversity and Distributions*.
- González, E. & J. Tundisi, 2008. Size and dry weight of main zooplankton species in Bariri reservoir (SP, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 68(1):69-75.
- Guo, X., 2000. A redescription of *Mesocyclops pehpeiensis* Hu, 1943 and notes on *Mesocyclops ruttneri* Kiefer, 1981 (Copepoda, Cyclopidae). *Hydrobiologia* 418(1):33-43.
- Guo, X., 2000. Two new species of *Mesocyclops* from southern China and notes on the genus *Mesocyclops* in China. *Hydrobiologia* 429(1):115-131.
- Gutierrez-Aguirre, M. A. & E. Suarez-Morales, 2001. Distribution and taxonomy of the tropical American *Mesocyclops* GO Sars, 1914 (Copepoda, Cyclopoida). *Crustaceana* 74:477-487.
- Holynska, M., 2006. Phylogeny of *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopidae) inferred from morphological characters. *Zoological Journal of the Linnean Society* 147(1):1-70.
- Holýńska, M., 2000. Is the spinule pattern on the leg 4 coxopodite a tactile signal in the specific mate recognition system of *Mesocyclops* (Copepoda, Cyclopidae)? *Hydrobiologia* 417(1):11-24.
- Jeje, C., 1988. A revision of the Nigerian species of the genera *Mesocyclops* Sars, 1914 and *Thermocyclops* Kiefer, 1927 (Copepoda: Cyclopoida). *Hydrobiologia* 164(2):171-184.
- Lansac-Tôha, F., L. Velho, J. Higuti & E. Takahashi, 2002. Cyclopidae (Crustacea, Copepoda) from the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 62(1):125-133.

- Lansac-tôha, F. A., I. F. M. Velho, J. Higuti & E. M. Takahashi, 2002. Cyclopidae (Crustacea, Copepoda) from the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 62:125-133.
- Matsumura-Tundisi, T. & W. Silva, 2002. Occurrence of *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 (Copepoda Cyclopoida) in water bodies of São Paulo state, identified as *Mesocyclops kieferi* Van de Velde, 1984. *Brazilian Journal of Biology* 62(4A):615-620.
- Mouelhi, S., D. Defaye & B. G., 2000. Présence de *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 (Crustacea : Copepoda) en Tunisie. *Annales de Limnologie* 36:95-99.
- Nogueira, M. G., 2001. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia* 455(1):1-18.
- Onabamiro, S. D., 1957. Some new species of Cyclops sensu lato (Crustacea: Copepoda) from Nigeria. *Journal of the Linnean Society of London, Zoology* 43(290):123-133.
- Oronsaye, C., 2008. Spatial distribution of planktonic copepods in Ikpoba River (Up-Stream) Benin City, Nigeria. *Bioscience Research Communications* 20:299-303.
- Peixoto, R. S., L. P. M. Brandão, C. d. F. Valadares & P. M. M. Barbosa, 2010. Occurrence of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) and *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 in lakes of the Middle River Doce, MG, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 22:356-360.
- Phillips, S., M. Dudík & R. Schapire, 2010. Maxent Software, ver. 3.3.3e.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson & R. E. Schapire, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190(3):231-259.
- Phillips, S. J. & M. Dudík, 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31(2):161-175.
- Reid, J. & R. Pinto-Coelho, 1994. An Afro continental Copepod, *Mesocyclops ogunnus* found in Brazil; with a new key to the species of *Mesocyclops* in South America and a review of intercontinental introductions of copepods. *Limnologica* 24(4):359-368.
- Reid, J. W. & L. J. Hribar, 2006. Records of some Copepoda (Crustacea) from the Florida Keys. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 155(1):1-7.

- Reid, J. W. & R. M. Pinto-Coelho, 1994. An Afro-Asian continental copepod, *Mesocyclops ogunnus*, found in Brazil; with a new key to the species of *Mesocyclops* in South America and a review of intercontinental introductions of copepods. *Limnologica Jena* 24(4):359-368.
- Rocha, C. E. F. d. & M. J. C. Botelho, 1998. Maxillopoda – Copepoda, Cyclopoida. In Young, P. S. (ed) Catalogue of Crustacea of Brazil. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 129-166
- Root, K. V., 1998. Evaluating the effects of habitat quality, connectivity, and catastrophes on a threatened species. *Ecological applications* 8(3):854-865.
- Santos-Wisniewski, M. & O. Rocha, 2007. Spatial distribution and secondary production of copepoda in a tropical reservoir: Barra Bonita, SP, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 67:223-233.
- Silva, W. M., 2008. Diversity and distribution of the free-living freshwater Cyclopoida (Copepoda: Crustacea) in the Neotropics. *Brazilian Journal of Biology* 68:1099-1106.
- Silva, W. M. d., 2011. Potential use of cyclopoida (Crustacea, Copepoda) as trophic state indicators in tropical reservoirs. *Oecologia Australis* 15(3):511-521.
- Simões, M. R., C. F. A. Ribeiro, S. C. A. Ribeiro, K. J. Park & F. E. X. Murr, 2007. Composição físico-química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 27(3):608-613.
- Suárez-Morales, E., J. W. Reid, F. Fiers & T. M. Iliffe, 2004. Historical biogeography and distribution of the freshwater cyclopine copepods (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopinae) of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Biogeography* 31(7):1051-1063.
- StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.
- Suárez-Morales, E., J. W. Reid, F. Fiers & T. M. Iliffe, 2004. Historical biogeography and distribution of the freshwater cyclopine copepods (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopinae) of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Biogeography* 31(7):1051-1063.

- Van de Velde, I., 1984. Revision of the African species of the genus *Mesocyclops* Sars, 1914 (Copepoda: Cyclopidae). *Hydrobiologia* 109(1):3-66.
- Zhen, T. M., C. Jennings & B. Kay, 1994. Laboratory studies of desiccation resistance in *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopoida). *Journal of the American Mosquito Control Association* 10(3):443-446.

DISCUSSÃO GERAL

Discussão Geral

Estudos sobre a utilização de copépodos ciclopóides podem ser consideradas recentes. No entanto, os últimos 30 anos de pesquisa sobre o uso de tais organismos como controladores biológicos de mosquitos transmissores de arboviroses têm demonstrado resultados bastante promissores. Todavia, a maioria dos trabalhos com copépodos como agente biológico tem avaliado simplesmente a sua capacidade de consumir larvas, geralmente em condições de laboratório, sem a avaliar o impacto da predação sobre a estrutura populacional dos mosquitos que emergem. Neste sentido, o presente trabalho mostrou-se importante não somente pelo estudo dos efeitos da predação de copépodos sobre larvas, mas também pelas alterações causadas à razão sexual e tamanho corporal de *Ae. albopictus* em ambiente natural.

As observações a respeito do comportamento de ovoposição de *Ae. albopictus* revelaram que um maior número de ovos de *Ae. albopictus* foi depositado em recipientes contendo copépodos. Resultados semelhantes foram observados por Torres-Estrada *et al.* (2001) em experimentos utilizando copépodos e em trabalhos utilizando peixes realizados por Pamplona *et al.* (2009). Estes e outros resultados sugerem que ambientes contendo estes agentes biológicos podem servir como locais para atração da ovoposição de fêmeas grávidas de mosquitos suscitando implicações positivas para a sua eficácia no controle desse vetor (Rodríguez Rodríguez *et al.* 2007). Estas observações também sugerem maiores investigações acerca dos mecanismos causadores da atração exercida por copépodos, visto ser este, um fator chave para o sucesso de copépodos ciclopóides como controladores biológicos.

O menor número de ovos encontrado nos recipientes controles também poderia ser explicado em função das densidades larvais, que apresentaram níveis mais elevados que as densidades observadas nos recipientes contendo copépodos. Recipientes com altas densidades de larvas podem ser pouco atrativos para fêmeas que tendem a evitar a competição-intraespecífica (Bentley & Day 1989; Serpa *et al.* 2008). A metodologia utilizada para contagem de ovos contidos nos recipientes ao final do experimento mostrou-se mais eficiente que a metodologia usualmente utilizada em trabalhos sobre ovoposição (Kramer & Mulla 1979). O índice de atividade de ovoposição (IAO) proposto por Kramer & Mulla (1979) é também uma forma pouco precisa para avaliação do comportamento de ovoposição de

fêmeas, visto que este é expresso por valores que não representam nenhuma diferença estatisticamente significativa.

Um maior percentual de redução no número de larvas foi observado para o gênero *Mesocyclops*. As duas espécies avaliadas (*Mesocyclops ogunnus* e *Mesocyclops brasilianus*) demonstraram ser mais eficientes no controle de larvas quando comparadas ao *T. tenuis*. Estes resultados corroboram com os resultados apresentados por Nam *et al.*(1998) e Marten *et al.* (2007) em seus trabalhos sobre a erradicação de mosquitos no Vietnã, em que copépodos do gênero *Mesocyclops* reduziram o número de larvas de mosquitos em 99%, ao contrario de outras espécies de copépodos dentre elas *Thermocyclops* não se mostraram bons controladores.

De acordo com Marten & Reid (2007), é possível observar uma relação entre o tamanho do corpo de copépodos e suas taxas de predação. Neste sentido, os resultados aqui apresentados também nos permitiram perceber que as espécies com um maior tamanho de corpo: *M. brasilianus* (1.8mm) e *M. ogunnus* (1.3mm) foram aquelas a apresentarem os maiores percentuais de redução, sendo estes respectivamente 78% e 74%, enquanto o *T. tenuis* (0.9mm) apresentou um percentual de redução de 52%. De acordo com Marten *et al.*(1994) copépodos podem preda até 50 larvas por dia, sendo esta a média verificada para as maiores espécies de copépodos (1,4 mm).

A razão sexual seguiu o mesmo padrão de resposta nos dois experimentos realizados. A comparação entre o número de machos e fêmeas emergidos de ambos os experimentos demonstrou que a predação exercida por copépodos ciclopoides tendem a favorecer o aparecimento de fêmeas. Durante o primeiro experimento realizado em 2011, as diferenças observadas na razão sexual de machos e fêmeas devido a presença de *M.ogunnus* mostrou-se significativas. No entanto, diferenças significativas não foram observadas para segundo experimento. É possível que diferenças não tenham sido observadas em recipientes contendo *M. brasilianus* devido a baixo *n* amostral em decorrência das elevadas taxas de predação. A diferença na quantidade de alimento fornecido para as larvas nos dois experimentos também pode ter sido responsável pelas diferenças nas razões sexuais encontradas.

Diferenças significativas no tamanho do corpo dos mosquitos foram observadas para os dois experimentos. Sendo as maiores diferenças encontradas em recipientes contendo copépodos do gênero *Mesocyclops*. Dois cenários hipotéticos fornecem explicação para tais

alterações no tamanho do corpo de *Ae. albopictus*. Uma destas explicações estaria relacionada à predação seletiva exercida por parte de copépodos ciclopóides que tendem a predar principalmente larvas nos primeiros estágios de desenvolvimento. Esta característica também implicaria em uma maior pressão de seleção sobre larvas com tamanho reduzido ou ainda sobre larvas de machos, o que explicaria as diferenças encontradas no número de machos e fêmeas. Desse modo, larvas com um maior tamanho de corpo teriam mais chances de sobrevivência aos ataques de copépodos, consequentemente dando origem a mosquitos com tamanho de corpo maior que aqueles encontrados nos recipientes controles.

Ao compararmos o efeito da predação exercida por *M. ogunnus* (Primeiro experimento) e *M. brasiliensis* (Segundo experimento) adultos emergidos de recipientes contendo o efeito da predação do *M. brasiliensis* e *M. ogunnus* sobre o número de mosquitos na fase adulta não apresentou grandes diferenças, podendo ser apontados como equivalentes. No entanto, a redução no número de fêmeas emergidas de recipientes contendo diferenças entre as espécies de copépodo. Onde o *Mesocyclops brasiliensis* foi a espécie a apresentar as maiores taxas de redução das fêmeas de mosquito ao longo de todo o experimento (73%), seguido do *Mesocyclops ogunnus* (64%) e por último *Thermocyclops tenuis* (45%), que demonstrou não exercer grandes efeitos sobre a redução do número de fêmeas.

A segunda hipótese seria a de que a diferença de tamanho seria um efeito indireto da predação de copépodos sobre as larvas. Este efeito se daria à medida que a ação predatória de copépodos reduz o número de larvas de *Ae. albopictus* e com isso a competição intraespecífica entre as larvas, aumentando a disponibilidade de recurso ainda maiores para as larvas sobreviventes. Diversos trabalhos realizados com outras espécies de mosquitos encontraram resultados semelhantes aos demonstrados em nossos experimentos, onde a densidade larva mostrou-se um dos principais fatores que influencia o tamanho de larvas (Beserra *et al.* 2009; Gama *et al.* 2005; Serpa *et al.* 2008). Futuros estudos poderão manipular a densidade de larvas para simular o efeito da predação por copépodos de forma a testar até que ponto as alterações no tamanho de corpo, comportamento de ovoposição e na razão sexual se devem diretamente a predação pelos copépodos ou indiretamente devido a redução da competição interespecífica.

Estes resultados além de fornecerem novas informações acerca do uso de copépodos predadores no controle de larvas de mosquito também podem ser considerados um modelo experimental para o estudo dos efeitos da predação sobre a estrutura populacional de

mosquitos vetores presas vetores. Estes dados são os primeiros sobre a eficiência do *M.brasilianus* como controlador biológico de larvas revelando uma maior eficiência desta espécie nativa em comparação a uma espécie invasora (*M. ogunnus*).

Referências bibliográficas

- Bentley, M. D. & J. F. Day, 1989. Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. *Annual Review of Entomology* 34(1):401-421.
- Beserra, E. B., C. R. M. Fernandes & P. S. Ribeiro, 2009. Relação entre densidade larval e ciclo de vida, tamanho e fecundidade de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) em laboratório. *Neotropical Entomology* 38:847-852.
- Gama, R. A., K. Alves, R. F. Martins, A. Eiras & M. Resende, 2005. Efeito da densidade larval no tamanho de adultos de *Aedes aegypti* criados em condições de laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 34:64-66.
- Marten, G. G. & J. W. Reid, 2007. Cyclopoid copepods. *Jornal American Mosquitoes Control Association* 23(2):65-92.
- Marten, G. G., G. Borjas, M. Cush, E. Fernandez & J. W. Reid, 1994. Control of larval *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) by cyclopoid copepods in peridomestic breeding containers. *Journal of medical entomology* 31(1):36-44.
- Kramer, W. L. & M. I. R. S. Mulla, 1979. Oviposition attractants and repellents of mosquitoes: oviposition responses of *Culex mosquitoes* to organic infusions. *Environmental Entomology* 8(6):1111-1117.
- Nam, V. S., T. Y. Nguyen, B. H. Kay, G. G. Marten & J. W. Reid, 1998. Eradication of *Aedes aegypti* from a village in Vietnam, using copepods and community participation. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 59(4):657-660.
- Pamplona, L. d. G. C., C. H. Alencar, J. W. O. Lima & J. Heukelbach, 2009. Reduced oviposition of *Aedes aegypti* gravid females in domestic containers with predatory fish. *Tropical Medicine & International Health* 14(11):1347-1350.
- Rodríguez Rodríguez, J., Z. Menéndez Díaz, I. García García, M. Díaz Pérez, J. E. Sánchez & R. Gato Armas, 2007. Conducta de oviposición de *Aedes aegypti* (L.) en presencia de *Macrocylops albidus* (J.) y *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* en condiciones de laboratorio. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 59(1):73-75.
- Serpa, L. L. N., I. Kakitani & J. C. Voltolini, 2008. Competição entre larvas de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* em laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 41(5):479-484.

- Serpa, L. L. N., S. D. C. B. Monteiro & J. C. Voltolini, 2008. Efeito da água de criação larval na oviposição de *Aedes aegypti* em laboratório. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 41:515-517.
- Torres-Estrada, J. L., M. H. Rodríguez, L. Cruz-López & J. I. Arredondo-Jimenez, 2001. Selective oviposition by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in response to *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopoidea) under laboratory and field conditions. *Journal of medical entomology* 38(2):188-192.
- Williamson, C. E., 1980. The predatory behavior of *Mesocyclops edax*: Predator preferences, prey defenses, and starvation-induced changes. *Limnology and Oceanography*:903-909.

CONCLUSÕES

Conclusões

- ✓ Os copépodos *Mesocyclops ogunnus* e *Mesocyclops brasilianus* demonstraram ser predadores mais eficientes que o *Thermocyclops tenuis*, e exercendo um efeito significativo sobre a estrutura populacional de *Ae. albopictus*.

- ✓ Os recipientes contendo copépodos apresentam um maior número de ovos, embora tais resultados não tenham demonstrado uma influência significativa sobre o comportamento de ovoposição do *Ae. albopictus*.

- ✓ Coortes de mosquitos emergidas de recipientes contendo copépodos apresentaram uma inclinação para fêmeas. No entanto, diferenças estatisticamente significativas na razão sexual de mosquitos foram observadas apenas em tratamentos contendo *M. ogunnus*.

- ✓ O percentual de redução no número de mosquitos adultos em recipientes contendo espécies de copépodos foi maior para as espécies de *Mesocyclops* (*Mesocyclops ogunnus* e *Mesocyclops brasilianus*) e menor para o *Thermocyclops tenuis*.

- ✓ *Mesocyclops ogunnus*, e *Mesocyclops brasilianus* apresentaram o maior percentual de redução do número de fêmeas em comparação ao para *Thermocyclops tenuis*.

- ✓ Mosquitos emergidos de recipientes contendo copépodos são maiores que aqueles emergidos dos controles, sendo esta uma diferença também observada quando os mosquitos foram separados pelo sexo.

APÊNDICE

TRABALHOS SUBMETIDOS

Artigo:

Título: Effects of predation by the copepod *Mesocyclops ogunnus* on the sex ratios of mosquito *Aedes albopictus*

Autores:

Helton Charllys Batista Cardôso¹;

Bruna Queiroz da Silva²;

Thiago Brandão de Assis¹;

Luiz Carlos Serramo Lopez¹

Instituição:

¹ Paraíba Federal University, Department of Systematics and Ecology, Center of Exact Sciences and of Nature, Campus I, João Pessoa, Paraíba State, Brazil. (Emails: hcharllys@gmail.com; thiago4887@hotmail.com; lcslopez@yahoo.com.br).

² Paraíba Federal University, Regional Program of Graduate Studies in Development and the Environment (PRODEMA), Campus I, João Pessoa, Paraíba State, Brazil. (Email: brunaqueiroz@hotmail.com).

Abstract:

Cyclopoid copepods have been used as biological agents in successful programs to control mosquito larvae, but the impacts of this predation on adult mosquito populations are still poorly understood. The present study compared the sex ratios and body sizes (measure as wing length) of *Aedes albopictus* mosquitoes emerging from recipients containing the copepod predator *Mesocyclops ogunnus* with control situations without this predator. We found that copepod predation significantly biased mosquito sex ratios towards females, and that both the males and females emerging from copepod-containing recipients were significantly larger than control insects. The ecological and epidemiological consequences of the changes induced by copepod predation on mosquito populations are discussed.

Keywords: Sex ratio; Predation; Mosquito; Copepod; *Mesocyclops*.

PERIÓDICO:

Qualis: A2

Fator de impacto: 1.9

Status da publicação: Aceito para publicação em 2012.

Nota de Distribuição Geográfica (NGD)

Título: *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro 1957 (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida): first report for northeastern Brazil

Autores:

Helton Charllys Batista Cardoso^{1*},

Emmanoela Nascimento Ferreira¹,

Bruna Queiroz da Silva²

Luiz Carlos Serramo Lopez¹.

Instituição:

¹Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Sistemática e Ecologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Área de Concentração Zoologia. Campus I, Cidade Universitária, CEP 58059-900. João Pessoa, PB, Brazil.

²Universidade Federal da Paraíba, Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Campus I, Cidade Universitária, CEP 58059-900. João Pessoa, PB, Brazil. *Corresponding author. E-mail: helcharllys@gmail.com

Abstract

Mesocyclops ogunnus is of African-Asian origin and is considered an invader species in reservoirs in the Americas. The present work records its occurrence in northeastern Brazil for the first time. This species was collected in the Três Lagoas region in the city of João Pessoa, State of Paraíba, Brazil, which increases its geographical distribution beyond the central-western, southeastern and southern regions of the country.

Key-words: *Mesocyclops ogunnus*, copepod, distribution.

PERIÓDICO:

Qualis: B3

Status da publicação: Aceito para publicação em 2012.