**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* (Diptera:
Tephritidae) em dois cenários climáticos no Brasil**

Wyratan da Silva Santos

**Tese apresentada para a obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Entomologia**

**Piracicaba
2008**

Wyratan da Silva Santos
Engenheiro Agrônomo

Zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* (Diptera:
Tephritidae) em dois cenários climáticos no Brasil

Orientador:
Prof. Dr. **ROBERTO ANTONIO ZUCCHI**

Tese apresentada para a obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Santos, Wyratan da Silva

Zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* (Díptera: Tephridae) em dois cenários climáticos no Brasil / Wyratan da Silva Santos. - - Piracicaba, 2008.
96 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Aquecimento global 2. Mosca-das-frutas 3. Mosca-do-mediterrâneo
4. Mudança climática 5. Sistema de informação geográfica I. Título

CDD 632.774

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

À Deus,
AGRADEÇO.

À minha esposa Francisca, pela compreensão, companheirismo e incentivo;
Às minhas irmãs Wyratelma e Wyracelma, pela amizade e apoio;
Aos meus sobrinhos Wesley, Weslane e Pedro Emanuel, pela alegria transmitida;
E aos meus pais Manoel e Maria que se esforçaram tanto para que nós (minhas irmãs e eu) estudássemos e pelo carinho a nós dedicado.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Antonio Zucchi, pelos ensinamentos e pela atenção dedicada durante a orientação e o convívio diário.

Ao Prof. Dr. Sinval Silveira Neto, pelo incentivo e sugestões valiosas que contribuíram muito para essa tese.

Aos Professores do Curso de Pós-graduação em Entomologia da ESALQ/USP pelos ensinamentos e pela amizade criada.

Aos meus amigos Bruno Souza, José Wilson e Leandro pelo incentivo e convivência durante o curso.

À Melissa e Dra. Marinéia pelas dicas de estatísticas durante o curso.

Às Doutoradas Emília Hamada e Raquel Ghini pelo fornecimento dos dados climáticos previstos para 2080.

À todos os colegas de curso pelo convívio amigável.

À USP e ESALQ pela oportunidade de ter realizado o Curso de Doutorado.

À CNPq pela concessão da bolsa.

Aos funcionários da ESALQ/USP e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta tese.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 DESENVOLVIMENTO	10
2.1 Revisão Bibliográfica	10
2.1.1 Temperatura	10
2.1.2 Temperatura do solo	13
2.1.3 Precipitação pluvial	14
2.1.4 Umidade do solo	15
2.1.5 Constante térmica de desenvolvimento	16
2.1.6 Zoneamento ecológico	18
2.2 Material e Métodos	20
2.2.1 Zoneamento ecológico	20
2.2.2 Evapopluviogramas	21
2.2.3 Índice de desenvolvimento	24
2.2.4 Elaboração dos mapas	24
2.3 Resultados e Discussão	25
2.3.1 <i>Anastrepha fraterculus</i>	26
2.3.1.1 Zoneamento ecológico anual no clima recente (1961 - 1990)	26
2.3.1.2 Zoneamento ecológico anual no clima futuro (2080 - A2)	28
2.3.1.3 Zoneamento ecológico mensal no clima recente (1961 - 1990)	29
2.3.1.3.1 Região Norte	29
2.3.1.3.2 Região Nordeste	34
2.3.1.3.3 Região Centro-Oeste	38
2.3.1.3.4 Região Sudeste	39
2.3.1.3.5 Região Sul	43
2.3.1.4 Zoneamento ecológico mensal no clima futuro (2080 - A2)	45
2.3.1.4.1 Região Sudeste	48
2.3.1.4.2 Região Sul	49

2.3.2 <i>Ceratitis capitata</i>	51
2.3.2.1 Zoneamento ecológico anual no clima recente (1961 -1990)	51
2.3.2.2 Zoneamento ecológico anual no clima futuro (2080 - A2)	53
2.3.2.3 Zoneamento ecológico mensal no clima recente (1961 - 1990)	55
2.3.2.3.1 Região Norte	55
2.3.2.3.2 Região Nordeste	62
2.3.2.3.3 Região Centro-Oeste	68
2.3.2.3.4 Região Sudeste	69
2.3.2.3.5 Região Sul	75
2.3.2.4 Zoneamento ecológico mensal no clima futuro (2080 - A2)	76
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	83

RESUMO

Zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) em dois cenários climáticos no Brasil

O zoneamento ecológico exploratório de *Anastrepha fraterculus* e de *Ceratitis capitata* foi baseado nos dados climáticos de 497 estações meteorológicas de todo o Brasil para o clima recente (1961 - 1990) e nos dados climáticos previstos pelo IPCC para o clima futuro (2080 no cenário A2). Com esses dados, foram confeccionados evapluviogramas para calcular o índice de desenvolvimento das duas espécies, com base em suas necessidades térmicas e de umidade de solo. Os índices de desenvolvimento foram espacializados pelo sistema de informações geográficas SPRING 4.1.1 e divididos em cinco classes. As localidades mais propícias ao desenvolvimento de *A. fraterculus*, no clima recente, localizam-se nas regiões Sudeste e Sul. Essas regiões apresentam temperaturas médias mensais dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento da espécie e período curto de estiação. Por outro lado, as localidades com condições menos favoráveis estão no semi-árido da região Nordeste, onde as temperaturas ficam sempre acima da temperatura-limite de desenvolvimento da mosca-das-frutas sul-americana e as condições hídricas são inadequadas ao desenvolvimento da fase de pupa. Com o aumento da temperatura, devido ao aquecimento global previsto para 2080 (cenário A2), as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste serão completamente desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*. Na região Sul e parte da Sudeste, a temperatura ficará dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento de *A. fraterculus*, mesmo com o aumento da temperatura, mas em alguns meses, excederá a temperatura-limite superior de desenvolvimento. No entanto, as condições hídricas serão desfavoráveis em grande parte do ano. No cenário do clima recente, as regiões Norte e Nordeste, com as temperaturas elevadas, são desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* durante o ano todo. No Nordeste, também as condições hídricas só são favoráveis em curto período do ano. Na região Centro-Oeste, de março a agosto, parte do Mato Grosso do Sul e de Goiás são desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*, em razão da precipitação pluvial baixa. Na região Sudeste, o período de setembro a março é favorável ao desenvolvimento, em razão da temperatura e condição hídrica adequadas. Na região Sul, apenas em maio e junho, quando ocorrem as menores temperaturas, o período é desfavorável ao desenvolvimento de *C. capitata*. Na previsão para 2080, devido principalmente ao aumento da temperatura causado pelo aquecimento global, apenas nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, haverá condições climáticas apropriadas ao desenvolvimento da mosca-do-mediterrâneo. Portanto, as mudanças climáticas previstas serão menos favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* (espécie exótica) do que de *A. fraterculus* (espécie nativa).

Palavras-chave: Tephritidae, mosca-das-frutas sul-americana, mosca-do-mediterrâneo, aquecimento global, mudanças climáticas, SGI.

ABSTRACT

Ecological zoning for *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae) in two climatic scenarios in Brazil

Exploratory ecological zoning for the South American fruit fly, *Anastrepha fraterculus*, and the medfly, *Ceratitis capitata*, were established based on data of 497 meteorological stations throughout Brazil, considering recent (1961 – 1990) and future climate forecast by IPPC (2080, A2 scenario). Climograms were used to estimate the South American fruit fly and medfly development indexes (I_d) based on their thermal and soil moisture requirements. The development index was divided into five classes and spacialized by using the SPRING 4.1.1 geographical information system. Based on development index the Southwest and South regions were the most suitable for *Anastrepha fraterculus* in the recent climate. These regions have average monthly temperatures within the mesothermic range of *A. fraterculus* development and a short period of drought, while the unfavorable localities were situated in the semi-arid of the Northwest region, where temperatures are always above the threshold temperature of development and soil moisture are unsuitable for the pupa stage. For the increase of temperature due to global warming foreseen for 2080 (scenario A2), the North, Northwest and Center-West regions will become entirely unsuitable for the South American fruit fly development. Temperatures within the mesothermic range of development will still be available in part of Southwest region and in the South region, even with the increase of the temperature. However, the hydric conditions will be unfavorable for most of the year, and the upper temperature threshold will be exceeded in warmer months. For *Ceratitis capitata*, the recent climate of the North and Northwest regions were unsuitable for its development due to the high temperatures year-round. In the Northwest region, the hydric conditions will be favourable for a short period of the year. The low rainfall from March to August will make part of the state of Mato Grosso do Sul and Goiás unfavorable for medfly development in the Center-West region. In the Southwest region, temperature and hydric conditions from September to March are inadequate for medfly development. In the South region, conditions will be unfavorable to medfly development only during the months of May and June, when low temperatures occur. In the prediction for 2080, due to the temperature increase, only Santa Catarina and Rio Grande do Sul states will have adequate climatic conditions to allow for *C. capitata* development. Therefore, the foreseen climate changes will be more unfavorable for the development of *C. capitata* (exotic species) than *A. fraterculus* (native species).

Key word: Tephritidae, South American fruit fly, medfly, global warming, climatic changes, GIS.

1 INTRODUÇÃO

O atual cenário fitossanitário da agricultura brasileira pode ser alterado pela mudança climática antropogênica e, conseqüentemente, nos próximos anos poderão ocorrer alterações na importância das pragas e doenças das plantas cultivadas. A análise dos possíveis efeitos da mudança climática sobre pragas e doenças de plantas é fundamental na adoção de medidas mitigadoras, com a finalidade de evitar prejuízos mais sérios (GHINI, 2005).

Os estudos do impacto das mudanças climáticas na agricultura do Brasil têm aumentado nos últimos anos e as estimativas de rendimento de várias culturas agrícolas em diversas regiões, diante de cenários de mudança climática, já foram relatadas (SIQUEIRA et al., 1994, 2000, 2001; ASSAD et al., 2004). No entanto, há poucos trabalhos sobre o impacto da mudança climática no desenvolvimento de pragas agrícolas em condições brasileiras.

O tamanho, a taxa crescimento e a estrutura da população de insetos podem ser projetados em relação às condições ambientais (VARGAS et al., 2000). Do mesmo modo, a sobrevivência e a longevidade dos adultos, medidas sob diferentes regimes de temperatura, são importantes para a compreensão da invasão das moscas-das-frutas (PAPADOPOULOS; KATSOYANNOS; CAREY, 1998). Alguns estudos bioclimáticos de moscas-das-frutas foram conduzidos para predizer áreas onde as espécies-praga podem sobreviver e se reproduzir (MESSENGER; FLITTERS, 1954).

O zoneamento, baseado nos fatores climáticos que influenciam o desenvolvimento do inseto, possibilita a definição dos ambientes ecologicamente favoráveis e/ou desfavoráveis para o seu desenvolvimento (BAKER et al., 2000).

O objetivo deste estudo foi estabelecer o zoneamento ecológico exploratório de *Anastrepha fraterculus* (Wied.) e *Ceratitis capitata* (Wied.) no Brasil, com base nos dados climáticos recentes e futuros.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

O clima e o tempo são comumente aceitos por entomologistas como influências dominantes no comportamento, abundância e distribuição dos insetos (MESSENGER, 1959).

As flutuações populacionais de adultos de moscas-das-frutas em pomares comerciais estão relacionadas à duas variáveis: disponibilidade de frutos hospedeiros e condições climáticas (ALUJA, 1994). Entre os fatores abióticos, destacam-se a temperatura, a umidade relativa, a precipitação pluvial e as condições físico-químicas do solo (CHRISTENSON; FOOTE, 1960; BATEMAN, 1972).

A temperatura e a água são os mais importantes fatores abióticos de mortalidade, que regulam a dinâmica populacional de insetos. O excesso ou a falta de água causam morte nos estádios imaturos e nos adultos. A dessecação da pupa em solos secos parece ser o principal fator de mortalidade e os primeiros dias depois de formação do pupário são críticos nesse aspecto (McPHAIL; BLISS, 1933). As condições excessivamente secas podem reduzir a fecundidade das fêmeas e podem afetar a taxa de sobrevivência dos adultos recém-emergidos. As frutas expostas à chuva se deterioram mais rapidamente e causam a morte das larvas do primeiro e segundo instares (BATEMAN, 1972). O excesso de água acelera a saída da larva da fruta e também a formação do pupário, podendo reduzir a sobrevivência (BAKER et al., 1944).

Os ovos, as larvas e os adultos de moscas-das-frutas têm seu desenvolvimento influenciado pela temperatura do ar e as pupas pela temperatura do solo (MORGANTE, 1991).

2.1.1 Temperatura

A temperatura é o fator físico mais importante, pois afeta os aspectos biológicos como a reprodução, a fecundidade, a duração do período de desenvolvimento, a taxa de emergência e a longevidade dos insetos (STERN; BOWEN, 1963; BUTTLER

JÚNIOR; LÓPEZ, 1980; HARRISON; KING; OUZTS, 1985; NOLDUS, 1989; FLETCHER, 1989).

A idade inicial de reprodução das moscas-das-frutas é fortemente influenciada pela temperatura e ocorre entre 8 a 20 dias, dependendo da espécie (BAKER et al., 1944; CELEDONIO-HURTADO et al., 1988; LIEDO et al., 1992).

A dinâmica populacional das moscas-das-frutas é influenciada diretamente pela disponibilidade de hospedeiros e das variações dos fatores climáticos (SALLES, 1995). Há correlação significativa (1% de probabilidade) entre o número de moscas/armadilha/dia e as médias semanais de temperatura mínima do ar (ZAHLER, 1990). A temperatura é a determinante ambiental de grande importância sobre a longevidade do adulto de diversas espécies de moscas-das-frutas (VARGAS et al., 1997). Por exemplo, há maior longevidade dos adultos de *A. fraterculus* em temperaturas de 13 e 20°C, enquanto a 25°C, a maturação ovariana é mais rápida e a expectativa de vida menor (TAUFER et al., 2000).

A faixa ótima de temperatura para que ocorra o melhor desenvolvimento do ciclo de vida de *A. fraterculus* está entre 15 e 27°C. Dentro dessa faixa, por consequência, o aumento populacional passa a depender da qualidade e abundância do hospedeiro (SALLES, 2000).

Na temperatura constante de 25°C, o desenvolvimento biológico de *A. fraterculus* ocorre em um período menor quando comparado com o período de desenvolvimento em temperaturas de 15; 17,5; 20; 22,5 e 30°C. Nas temperaturas de 5, 10, 35, 40, 45°C, não há desenvolvimento de ovo a pupa, incluindo o período de incubação, período pupal e formação do pupário. A 25°C, o período do desenvolvimento de ovo a pupa é cerca de 15 dias, a metade do tempo necessário nas temperaturas de 20 ou 30°C (BAKER, 1945; MARTINS, 1986; SALLES, 1993a).

O desenvolvimento da pupa e da emergência do adulto de *A. fraterculus* acontece em uma faixa restrita de temperatura (20 e 25°C). A formação do adulto ocorre nas temperaturas inferior e superior (15 e 30°C), porém não há emergência (BAKER, 1945; MARTINS, 1986; SALLES, 1993a).

Os fatores climáticos que exerceram as interferências mais expressivas na dinâmica populacional de *A. fraterculus* foram as temperaturas máxima e mínima

(MACHADO; SALLES; LOECK, 1995; TAUFER et al., 2000; CHIARADIA; MILANEZ; DITTRICH, 2004).

Araujo (2002) constatou uma correlação negativa significativa entre o nível de infestação de espécies de *Anastrepha* e a temperatura. Nos meses em que a temperatura foi superior a 28°C, praticamente não houve frutos infestados com moscas-das-frutas e os índices de captura nas armadilhas foram insignificantes.

Um modelo de regressão, com significância estatística entre os fatores climáticos e os níveis populacionais de *A. fraterculus* em três pomares, foi ajustado por Garcia, Campos e Corseuil (2003). A temperatura máxima atuou de forma positiva e a temperatura mínima, negativamente sobre a população de *A. fraterculus*.

A maturação ovariana em *C. capitata* ocorre mais rapidamente entre 25 e 30°C e não há maturação ovariana a 35°C (DUYCK; QUILICI, 2002).

A sobrevivência de *C. capitata* é alta nas temperaturas entre 15 e 30°C (MESSENGER; FLITTERS, 1958; VARGAS et al., 1996; DUYCK; QUILICI, 2002), com duração do período de desenvolvimento de 64 a 16 dias, respectivamente (DUYCK; QUILICI, 2002).

A temperatura também afeta os parâmetros demográficos (sobrevivência de adulto, longevidade, fecundidade e taxas intrínsecas de aumento) de *C. capitata* criada em várias temperaturas constantes. Os parâmetros reprodutivos e de população foram baixos ou negativos a 16 e 32°C (VARGAS et al., 1997). Essa espécie desenvolve-se na temperatura de 32°C, mas com alta mortalidade pupal (68,6%) (VARGAS et al., 1996); a 35°C, a sobrevivência larval é de 5% (DUYCK; QUILICI, 2002). A maior sobrevivência ocorre entre 25°C (72,8%) (DUYCK; QUILICI, 2002) e 29°C (73,0%) (VARGAS et al., 1996). A maior taxa de reprodução líquida foi obtida a 24°C (VARGAS et al., 1997).

Na criação de *C. capitata* em temperaturas alternadas de 35:24°C, a taxa de multiplicação por geração por fêmea é igual a um. As populações nessas condições teriam uma alta probabilidade de extinção. As temperaturas extremamente quentes são mais prejudiciais e, possivelmente, mais limitantes que temperaturas frias para essa espécie (VARGAS et al., 2000).

A durações das fases de desenvolvimento e o período de pré-oviposição de *C. capitata* variam inversamente com o regime de temperaturas. Os estágios de ovo, larva e pupa foram mais longos nas temperaturas alternadas de 24:13°C em relação às temperaturas 24:24, 29:18 e 35:24°C. O período de pré-oviposição mais longo ocorreu em temperaturas alternadas de 24:13°C e os menores a 29:18 e 35:24 (VARGAS et al., 2000).

A temperatura é o fator que mais afeta a dinâmica populacional de *C. capitata* (PARRA; ZUCCHI; SILVEIRA NETO, 1982). Nascimento et al. (1982) observaram correlação negativa entre a flutuação populacional de moscas-das-frutas e as temperaturas máxima e média.

2.1.2 Temperatura do solo

Tem efeito marcante no período de pupação de *A. fraterculus*. Nas temperaturas de 10 e 35°C, não há emergência de adultos. Nas temperaturas de 15, 20 e 25°C, ocorre um decréscimo do número de dias para a primeira emergência dos adultos, crescendo novamente a 30°C (SALLES; CARVALHO JUNIOR, 1995).

As maiores emergências de *A. fraterculus* ocorrem nas temperaturas entre 20 e 25°C; de 30°C adiante a emergência é extremamente baixa (SALLES; CARVALHO; JUNIOR, 1995). Nos meses mais frios do inverno, há um prolongamento do período pupal e redução na emergência de adultos (SALLES, 1993b).

Nos modelos de previsão de ocorrência de insetos subterrâneos baseados nas exigências térmicas, as temperaturas do ar e do solo são usualmente empregadas como variáveis independentes, e os resultados têm sido aplicados para melhor entendimento da dinâmica populacional dos insetos-praga e de seus inimigos naturais nos sistemas agrícolas (BERNAL; GONZÁLES, 1993; DAVIS; BRENES; ALLEE, 1996; CIVIDANES; FIGUEIREDO, 1997).

2.1.3 Precipitação pluvial

É outro importante fator climático que influencia as populações das moscas-das-frutas (ALUJA, 1994). Os tefritídeos são raramente encontrados em regiões do mundo com clima seco (BATEMEN, 1972; FLETCHER, 1989).

A umidade ambiental é de uma importância especial como determinante de abundância para várias espécies. A distribuição de *Dacus cucurbitae* na Índia, por exemplo, é amplamente determinada pela umidade. A população se expande quando a chuva é adequada e contraem durante os períodos secos (BATEMAN, 1972).

As fases do ciclo de vida dos tefritídeos, que são mais suscetíveis à dessecação são as larvas de último instar (período entre a saída da larva da fruta e a pupação) e o adulto recém-emergido. A chuva influencia no comportamento de ambas as fases, estimulando a saída das larvas de *Anastrepha ludens* do último instar das frutas em (BAKER et al., 1944).

A precipitação pluvial aliada à disponibilidade de hospedeiros são fatores determinantes na população de tefritídeos. Por exemplo, os meses, após as maiores precipitações pluviais e aqueles com maior frutificação da goiabeira em Mossoró, corresponderam ao período com os maiores picos populacionais e níveis de infestação por espécies de *Anastrepha* (ARAUJO; ZUCCHI, 2003).

Na região do semi-árido nordestino, o pico populacional das espécies de *Anastrepha* coincide com o início da estação chuvosa (fevereiro/março), apresentando, de modo geral, densidade populacional baixa. Nos meses anteriores ao período de chuva, toda a vegetação nativa está seca e sem frutos disponíveis para oviposição. A temperatura durante o dia alcança 38 a 40°C e a umidade relativa reduzida a 30% (NASCIMENTO, 1990).

Ao analisar a influência dos fatores climáticos sobre as populações de moscas-das-frutas, na região metropolitana de Curitiba e Irati (PR), Fehn (1981) concluiu que as populações são influenciadas positivamente pela precipitação pluvial.

No estudo realizado por Lima (1997), as flutuações populacionais das moscas-das-frutas foram influenciadas principalmente pela disponibilidade dos frutos hospedeiros e pela precipitação pluvial.

A baixa pluviosidade (média anual inferior a 700 mm) e o reduzido número de hospedeiros determinam a baixa densidade populacional de tefritídeos em áreas agrícolas no submédio do Vale do São Francisco (HAJI et al., 1991).

Em alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil (PUZZI; ORLANDO, 1965; PARRA; ZUCCHI; SILVEIRA NETO, 1982; NASCIMENTO et al., 1982), não se constatou correlação entre a flutuação populacional das moscas-das-frutas e a precipitação pluvial.

2.1.4 Umidade do solo

A influência da umidade nos insetos é diretamente proporcional ao tempo em que são expostos à sua ação (BERTELS, 1970).

As larvas das moscas-das-frutas do último instar deixam a fruta e empupam no solo, de onde emergem os adultos. Nessa ocasião, a condição do solo deve influenciar no sucesso da emergência do adulto (SALLES; CARVALHO JUNIOR, 1995).

A falta de umidade no solo pode provocar a mortalidade de um grande número de pupas e de adultos recém-emergidos, que têm dificuldade de atravessar solos secos (BATEMAN, 1972). A dessecação é um dos principais fatores de inviabilidade pupal de *Anastrepha obliqua* em condições de laboratório (BRESSAN-NASCIMENTO, 2001). A fecundidade das fêmeas de moscas-das-frutas é reduzida durante os períodos secos (BATEMAN, 1972).

A umidade do solo tem influência sobre pupas e emergência de adultos de *A. fraterculus*. Em solo seco o número de adultos emergido é mais baixo quando comparado a solo com umidades mais próximas da saturação (28,3%) (SALLES; CARVALHO JUNIOR, 1995).

A umidade e o tipo de solo influencia na emergência de *C. capitata*. A umidade em solo arenoso afeta a duração da fase pupal. Da capacidade de campo (32,8% de umidade) ao ponto de murchamento permanente (5,5% de umidade), há um alongamento do período pupal, sendo que as maiores viabilidades das pupas ocorrem com umidades de 15,7 e 9,5%. A umidade em solo argiloso não afeta a duração da fase pupal. Mas, a viabilidade é drasticamente afetada, aumentando a partir de 30,3% de

umidade e mantendo-se alta até o ponto de murchamento permanente (21,1% de umidade). As menores viabilidades de larvas de *C. capitata* são encontradas nas umidades próximas à capacidade de campo em solo argiloso (59,9% de umidade) (MILWARD-DE-AZEVEDO; PARRA, 1989).

A exposição de pupas para dessecação resulta não apenas em significativa mortalidade antes da emergência dos adultos, mas a longevidade dos adultos também é drasticamente reduzida com a diminuição da umidade do solo onde as pupas ocorrem (BAUMHOVER, 1963; MILWARD-DE-AZEVEDO et al., 1992)

Não só a umidade do solo interfere sobre os parâmetros biológicos dos insetos no solo, mas também a compactação, a textura, a porosidade e outras características físicas e químicas do substrato. Em solo saturados, a pupação é superficial, potencializando o controle das pragas, por meio da exposição à predação e ao parasitismo (MILWARD-DE-AZEVEDO; PARRA, 1989; MILWARD-DE-AZEVEDO et al., 1992).

2.1.5 Constante térmica de desenvolvimento

A temperatura é um dos fatores ecológicos mais importantes, influenciando diretamente o desenvolvimento e o comportamento dos insetos. Cada espécie apresenta um requisito térmico próprio, determinando a maior ou menor adequação do ambiente para o seu crescimento populacional (SALVADORI; PARRA, 1990).

Diversos trabalhos mostram resultados satisfatórios da aplicação do conceito da unidade térmica graus-dia na estimativa da duração do ciclo de desenvolvimento dos insetos (PEZZOPANE et al., 1997). O conceito da taxa intrínseca de aumento também foi usado na delimitação do ambiente habitável por uma espécie (LAUGHLIN, 1965).

Um dos primeiros trabalhos para determinar as temperaturas-limite de desenvolvimento de moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha* foi realizado por Darby (1933) para *Anastrepha ludens*.

Os estudos de exigências térmicas, em condições de laboratório, fornecem subsídios importantes para o desenvolvimento de modelos de graus-dia muito utilizados em ecologia e manejo de pragas, sendo importantes para a previsão de ocorrência de

pragas e inimigos naturais (OBRYCKI; TAUBER, 1981; BRAMAN et al., 1992; BERNAL; GONZÁLEZ, 1993) e para o zoneamento ecológico de pragas (MILANEZ; PARRA, 2000). No Brasil, foram desenvolvidos estudos com graus-dia para o bicho-mineiro-do-cafeeiro, *Perileuoptera coffeella* Guérin-Méneville (PARRA, 1985), para a mosca branca em feijoeiro, *Bemisia tabaci* (Genn.) (CARVALHO; HOHMANN, 1989) e para os percevejos-da-soja, *Nezara viridula* (L.), *Piezodorus guildini* (Westwood) e *Euchistus heros* (Fabr.) (CIVIDANES; PARRA, 1994, CIVIDANES; FIGUEREDO, 1997).

As determinações das exigências térmicas das espécies podem ser empregadas em interpretações de estudos ecológicos, como a distribuição de espécies de insetos em diferentes localidades e épocas (ROSS et al., 1989); análise de abundância de pragas e o sincronismo fenológico em relação às mudanças climáticas (DEWAR; WATT, 1992) e determinações do número de gerações de acordo com as condições climáticas do local (BRYANT; THOMAS; BALE, 1997).

A temperatura-base inferior (Tb) e a necessidade em graus-dia (GD) de *A. fraterculus* foram de 9,23; 10,27 e 10,78 °C; e 52,24; 161,45 e 227,79 GD para as fases de ovo, larva e pupa, respectivamente; a constante térmica de 430,6 graus-dia indicava a influência da variação de temperatura sobre o desenvolvimento da espécie (MARTINS, 1986; MACHADO; SALLES; LOECK, 1995).

Garcia, Campos e Corseuil (2003) obtiveram em Chapecó 4.851,90 graus-dia no ano de 1998; de 4.632,90 no ano de 1999 e de 4.983,70 em 2000, estimando-se que *A. fraterculus* tem condições de desenvolver, pelo menos, 11,27; 10,75 e 11,57 gerações anuais, respectivamente, considerando-se exclusivamente a temperatura. Esses dados indicam que *A. fraterculus* não tem diapausa na região, o que foi concluído também por Salles (1993c) e Machado, Salles e Loeck (1995) para a região de Pelotas, RS. Em Pelotas, RS, Machado, Salles e Loeck (1995) estimaram a possibilidade que essa espécie poderia desenvolver, no mínimo, seis gerações anuais.

Duyck e Quilici (2002) ajustaram um modelo de regressão linear altamente significativa e positiva entre a temperatura e a taxa de desenvolvimento ($R^2 = 0,92$) para *C. capitata* numa escala de 15 a 30°C. Os limites térmicos inferiores para ovo, estágios larval e pupal e período de maturação do ovário foram estimados em 11,6; 10,2; 11,2 e 8,9°C, respectivamente. As exigências térmicas em graus-dia determinados para ovo,

estágios larval e pupal maturação do ovário e o desenvolvimento total foram de 28; 89; 143; 90 e 350 graus-dia, respectivamente.

Os métodos de determinação de constante térmica foram discutidos por Haddad, Parra e Moraes (1999).

2.1.6 Zoneamento ecológico

A previsão de distribuição potencial de todas as pragas (nativas e exóticas) representa papel-chave para determinar os efeitos da mudança global nos agroecossistemas. Erros na previsão da distribuição potencial prejudicarão a capacidade para identificar as regiões, mercadorias (*commodities*) e ecossistemas que vulneráveis, para quantificar as perdas na produção e outros impactos que podem acontecer e para formular estratégias de manejo (BAKER et al., 2000).

O aquecimento global pode afetar as populações de insetos. Em áreas onde as temperaturas afetam os processos fisiológicos e que ficam abaixo da temperatura ótima da espécie na maior parte do ano, podem ser esperados aumentos na temperatura que podem elevar as taxas de desenvolvimento e de crescimento, diminuir o tempo entre geração, reduzir a mortalidade por fatores abióticos, aumentar a movimentação e alterar a distribuição geográfica (PORTER; PARRY; CARTER, 1991; HARRINGTON; FLEMING; WOIWOD, 2001; MENÉNDEZ, 2007).

Potencialmente o aquecimento global pode afetar vários aspectos do ciclo de vida e ecologia dos insetos, especialmente aqueles diretamente controlados por variáveis de disponibilidade de energia como graus-dia. Por conseguinte, respostas potenciais incluem mudanças nos padrões fenológicos, mudanças na seleção de habitat, expansão e contração geográfica e altitudinal da área de ocorrência dos insetos (HUGHES, 2000; MENÉNDEZ, 2007).

Muitas espécies já foram afetadas pelo aquecimento global que ocorreu durante o século XX. Em estudo com 694 espécies de animais e vegetais, Root et al. (2003) relataram mudanças na duração de eventos na primavera (reprodução, floração), que ocorreram 5,1 dias mais cedo a cada década em clima temperado. Os resultados foram atribuídos às mudanças na temperatura que ocorreram durante os últimos 100 anos. O

aquecimento global e as mudanças nos padrões de precipitação pluvial, relacionadas às mudanças climáticas, afetarão provavelmente o potencial de distribuição e abundância das populações insetos e podem influenciar a sua capacidade de reprodução e de colonizar novos habitats (SUTHERST; MAYWALD, 2005).

As respostas fenológicas e de distribuição ao aquecimento global provavelmente envolvem processos ecológicos e evolutivos (DAVIES et al., 2006). As mudanças climáticas alterarão pressões de seleção dentro das populações, pois a maioria das populações é adaptadas ao seu ambiente local. Assim, características que conferem alta aptidão ao clima existente poderão não ser tão bem sucedidas nas novas condições climáticas e respostas evolutivas podem surgir (MENÉNDEZ, 2007).

O potencial de mudanças evolutivas é grande entre os insetos, pois eles crescem rapidamente, têm período curto entre gerações e alta taxa reprodutiva, o que significa que as populações de insetos podem se ajustar rapidamente às novas condições ambientais. Portanto, não é surpreendente que evidência mais empírica de mudanças evolutivas venha dos insetos (PARMESAN, 2006).

O zoneamento climático para insetos, revisado por Messenger (1959) e Meats (1989), é o principal método para prever a distribuição potencial dos insetos sob climas atuais e futuros (BAKER et al., 2000).

Os resultados alcançados em estudos de exigências térmicas apresentam contribuições importantes para os estudos de modelos de simulação e de zoneamento ecológico de pragas, onde a temperatura entra como um dos fatores imprescindíveis para a determinação do número de gerações e da previsão de ataques, nas diferentes regiões de um país (MILANEZ; PARRA, 2000).

Alguns trabalhos têm realizado o zoneamento do número de gerações de insetos pragas, por exemplos, para *N. viridula*, *P. guidinii* e *E. heros* durante o ciclo da soja, em quatro estados (São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul) (CIVIDANES; PARRA, 1994), para o bicho-mineiro-do-cafeeiro *P. coffeella* e para o estado de São Paulo (PARRA, 1985) e para as cigarrinhas vetores da Clorose Variegada do Citros (CVC), no estado de Santa Catarina (MILANEZ et al., 2005).

O zoneamento ecológico para as cigarrinhas-das-pastagens no Brasil foi baseado em evapopluviogramas, concluindo-se que há quatro regiões ecológicas para o desenvolvimento dessas pragas (SILVEIRA NETO et al., 1986).

Recentemente foi realizado o zoneamento do número de gerações de do bicho-mineiro-do-cafeeiro para o Brasil, sob o efeito da mudança climática, concluindo-se que o número de gerações dessa espécie aumentará continuamente com o aumento da temperatura (HAMADA; GHINI; GONÇALVES, 2006).

Os trabalhos sobre zoneamento ecológico de insetos são escassos no Brasil e nenhum estudo com esse propósito foi conduzido com as moscas-das-frutas.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Zoneamento ecológico

Foi fundamentado em evapopluviogramas elaborados pelo método de Thornthwaite (1948). Foram utilizados dados do clima recente e futuro para realizar o zoneamento das duas espécies de moscas-das-frutas.

Para a caracterização do clima atual, foram consideradas as informações de 497 estações meteorológicas distribuídas por todo o território brasileiro, para o período de 1961 a 1990, obtidas na página eletrônica do Núcleo de Monitoramento Agroclimático do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ (<http://www.lce.esalq.usp.br/nurma.html>).

Para o clima futuro, utilizaram-se as médias mensais de temperatura média e de precipitação pluvial previstas pelo IPCC (*Intergovernmental Painel on Climate Change*) (2001), no Terceiro Relatório de Avaliação (*Third Assessment Report – TAR*). Essas informações foram obtidas do banco de dados em Sistema de Informações Geográficas (SIG), elaborado por Hamada et al. (2008). Os dados de temperatura média e de precipitação pluvial do banco de dados são médias aritméticas de seis modelos climáticos globais: CCSR/NIES (*Centre for Climate Research Studies Model*), CGCM2 (*Canadian Global Coupled Model version 2*), CSIRO Mk2 (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization GCM mark 2*), ECHAM4 (*European Centre Hamburg*

Model version 4), GFDL-R30 (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, R-30 resolution model*) e HadCM3 (*Hadley Centre Coupled Model version 3*) (IPCC, 2006). O cenário futuro adotado foi A2, centrado na década de 2080 (período entre 2070 e 2099).

O A2 é um cenário de elevadas emissões de gases de efeito estufa, isto é, assume a manutenção dos padrões atuais de emissões. Descreve um mundo futuro muito heterogêneo, com preservação das identidades locais e da tradição. Os padrões de fertilidade entre regiões convergem muito lentamente, o que resulta em alto crescimento populacional. O desenvolvimento econômico é principalmente orientado regionalmente e o crescimento econômico *per capita* e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos, comparados às outras famílias de cenário (IPCC, 2001).

Foram utilizados os dados climáticos previstos para o ano de 2080, cenário A2, para mostrar o contraste que o aumento de temperatura pode provocar na distribuição das espécies estudadas, pois o aumento da temperatura, causado pelo aquecimento global, pode provocar a extinção de espécies (THOMAS et al., 2004).

Para cada uma das 497 estações meteorológicas, foram utilizados também dados de temperatura e precipitação pluvial para o clima futuro obtidos no banco de dados elaborado por Hamada et al. (2008).

2.2.2 Evapopluviogramas

Para a construção dos evapopluviogramas, foi utilizado o programa Excel, onde foram plotados os valores da evapotranspiração potencial nas ordenadas e os valores da precipitação pluvial real nas abscissas. Como ambos os elementos são expressos na mesma unidade (mm), foi possível compará-los quantitativamente pelos seus valores absolutos e não apenas de forma relativa, como é comum nos climogramas.

O evapopluviograma foi dividido em cinco faixas térmicas (CAMARGO, 1966), com valores correspondentes às limitações e exigências térmicas das espécies de moscas-das-frutas, e em seis setores hídricos, nos quais os valores da precipitação pluvial correspondem a diferentes submúltiplos e múltiplos da evapotranspiração potencial (HOLDRIDGE et al., 1971) (Figura 1).

Os limites térmicos de desenvolvimento foram calculados utilizando-se as temperaturas-base e constantes térmicas de *A. fraterculus* (MACHADO; SALLES; LOECK, 1995; MARTINS, 1986) e de *C. capitata* (DUYCK; QUILICI, 2002), com as fórmulas que constam em Haddad e Parra (1984).

As notas dos coeficientes foram baseadas nos trabalhos de Machado, Salles e Loeck (1995) e Martins (1986), para *A. fraterculus* e em Duyck e Quilici (2002) e Milward-de-Azevedo e Parra (1989) para *C. capitata* (Tabelas 1 a 3).

Tabela 1 - Setores hídricos e respectivos coeficientes para *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata*

Setores hídricos	Relação P/EP	Coeficientes hídricos (C_h)
Árido	1:4 ou mais	0
Semi-árido	1:4 a 1:2	1
Sub-úmido	1:2 a 1:1	2
Úmido	1:1 a 2:1	3
Super-úmido	2:1 a 4:1	4
Hiper-úmido	4:1 ou menos	3

EP - Evapotranspiração potencial, P - Precipitação pluvial

Os setores hídricos adjacentes e com os ângulos no canto inferior esquerdo do diagrama correspondem ao gradiente de umidade, que foram representados por coeficientes hídricos.

Tabela 2 - Faixas Térmicas de desenvolvimento de insetos com coeficientes térmicos para *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata*

Faixas térmicas	Coeficientes térmicos (C_t)
Macrotérmica	0
Hipertérmica	1
Mesotérmica	2
Hipotérmica	1
Microtérmica	0

As faixas térmicas foram obtidas por transformação dos limites de temperaturas de desenvolvimento em evapotranspiração, conforme Camargo (1964), representadas por coeficientes térmicos. Por meio desses coeficientes, foram construídos os evapopluviogramas de cada localidade (Figura 1).

Figura 1 - Evapopluviograma de Piracicaba, SP, com os setores hídricos e faixas térmicas

Tabela 3 - Limites térmicos (°C) de desenvolvimento de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata*

Temperatura	<i>Ceratitis capitata</i>	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Limiar superior (Tbs)	28,91	31,45
Limite superior (Ts)	24,49	26,78
Limite inferior (Ti)	14,53	15,26
Limiar inferior (Tbi)	10,20	10,70
Constante térmica (K)	350,0	430,6
Constante térmica em Graus-dia		

2.2.3 Índice de desenvolvimento

Os coeficientes de desenvolvimento (C_d) foram calculados sobre o conjunto de dados obtidos dos evapopluviogramas de cada estação meteorológica por meio da fórmula (SILVEIRA NETO et al., 1986):

$$C_d = C_h \times C_t$$

em que: C_h = Coeficiente hídrico

C_t = Coeficiente térmico

O índice de desenvolvimento (I_d) varia de zero a 100 e descreve as condições climáticas da região, sua viabilidade e limitações para o desenvolvimento das duas espécies. O índice de desenvolvimento das duas espécies obtido para as 497 estações meteorológicas, agrupado em cinco classes, foi calculado pelo somatório dos valores dos C_d para cada local.

2.2.4 Elaboração dos mapas

Utilizou-se o software SPRING 4.1.1 (CAMARA et al., 1996), desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), na elaboração dos mapas, passando pelas etapas de organização e armazenamento das informações em seu banco de dados e posterior análise e confecção dos mapas. O Brasil foi adotada como área de estudo, utilizando-se o sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude), com resolução espacial de 5.000 X 5.000 m.

A espacialização do índice de desenvolvimento foi realizada por meio de um interpolador de média ponderada por cota por quadrante do SPRING 4.1.1 (CAMARA et al., 1996).

2.3 Resultados e Discussão

É discutida a influência da temperatura e da umidade sobre *A. fraterculus* e *C. capitata*, tendo em vista que esses parâmetros climáticos atuam no ciclo vital das moscas-das-frutas e, conseqüentemente, interferem em seus níveis populacionais. A temperatura é um dos fatores mais importantes, sendo grandemente responsável pela dinâmica das populações e sua harmonia com as mudanças ambientais (BATEMAN, 1972).

Nas regiões de clima temperado, as populações são reguladas pela temperatura relativamente baixa durante o inverno, tornando-se esse o principal fator regulador das populações de moscas-das-frutas (PAPADOPOULOS et al., 2001).

Nos locais onde as condições climáticas não são favoráveis durante o ano todo, além da disponibilidade de frutos hospedeiros, a abundância de moscas-das-frutas é influenciada também pelas variáveis climáticas como precipitação pluvial, umidade relativa, temperaturas máxima e mínima e velocidade do vento (NASCIMENTO et al., 1982; PARRA; ZUCCHI; SILVEIRA NETO, 1982; ARRIGONI, 1984; ZAHLER, 1990; RAGA et al., 1996; CHIARADIA; MILANEZ; DITTRICH, 2004; MONTES; RAGA, 2006).

Entretanto, em áreas tropicais, a flutuação temporal da população de adultos de moscas-das-frutas está relacionada principalmente à disponibilidade de plantas hospedeiras e não às variáveis climáticas (SOTO-MANITIU; JIRÓN, 1989; TAN; SERIT, 1994; CELEDONIO-HURTADO, 1995; ALUJA et al., 1996). Os estudos conduzidos no Brasil também confirmam essas observações (PUZZI; ORLANDO, 1965; MALAVASI; MORGANTE, 1981; FEHN, 1982; ZAHLER, 1991; AGUIAR-MENEZES; MENEZES, 1996; CANAL, 1997). Todavia, esse fato ocorre porque a maioria das áreas estudadas apresenta condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento das moscas-das-frutas, com temperatura na faixa ótima de desenvolvimento e sem restrições hídricas para a emergência dos adultos. Ficando, portanto, dependente exclusivamente da presença de plantas hospedeiras e do estágio de maturação dos frutos (PUZZI; ORLANDO, 1965).

A flutuação populacional das moscas-das-frutas apresenta oscilações anuais sem obedecer a um padrão, ou seja, há muitas variações dependentes do ano, região ou local. Dois fatores são básicos para tais variações: a presença do hospedeiro

alternativo e as condições climáticas, principalmente temperatura e chuva durante a primavera (ALUJA, 1994).

2.3.1 *Anastrepha fraterculus*

2.3.1.1 Zoneamento ecológico anual no clima recente (1961 - 1990) (Figura 2)

Nas condições do clima recente, as áreas com menores índices de desenvolvimento (0 - 40) concentram-se na região Nordeste do país, principalmente no semi-árido, que apresenta um regime de chuvas concentradas em curto período, sem chuva no restante do ano e com temperaturas elevadas durante o ano todo. O leste do Maranhão, quase todo Piauí e Ceará, o Rio Grande do Norte, o norte da Paraíba, o oeste de Pernambuco e o norte e o centro-sul da Bahia e norte de Minas Gerais, além do norte de Roraima, compõem a região com baixo índice de desenvolvimento de *A. fraterculus*, correspondendo a menos de 10% da área do território brasileiro (Figuras 2 e 3).

A maior parte do território brasileiro (65,66%) apresentou Índice de desenvolvimento mediano (40 e 60) (Figuras 2 e 3), indicando que nessas áreas *A. fraterculus* pode desenvolver-se durante todo ano com restrição climática em alguns meses. Como ocorre nos estados do Tocantins, Goiás e Minas Gerais, onde de novembro a abril há condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* e de maio a outubro, de forma geral, há restrições climáticas.

As áreas com os maiores Índices de desenvolvimento (60 a 100) correspondem aproximadamente a 25% do território brasileiro (Figuras 2 e 3). A região Sul apresenta altos Índices de desenvolvimento em quase toda a sua extensão, além do leste de São Paulo, sul de Minas Gerais, litoral da Bahia, centro-sul do Mato Grosso do Sul, Acre, norte de Rondônia, sudoeste do Amazonas, Rondônia, litoral da Bahia e noroeste do Pará.

Figura 2 - Zoneamento ecológico anual de *Anastrepha fraterculus* para o clima recente (1961 - 1990) no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 3 - Porcentagem de área por classe de índice de desenvolvimento de *Anastrepha fraterculus* no Brasil, calculada com dados do clima recente (1961 - 1990)

2.3.1.2 Zoneamento ecológico anual no clima futuro (2080 - A2) (Figura 4)

A previsão para 2080, no cenário A2, considerando-se um aumento da temperatura entre 1,4 a 5,8°C (KARL; TRENBETH, 2003), acarretaria uma área com menor Índice de desenvolvimento (0 - 40) em 90,08% do Brasil (Figura 5), cobrindo as regiões Norte, nordeste, Centro-Oeste e parte da região Sudeste. O restante do território brasileiro (9,92%), com Índice de desenvolvimento entre 40 e 60, cobriria a região Sul e parte da região Sudeste.

Figura 4 - Zoneamento ecológico anual de *Anastrepha fraterculus* para o clima futuro (2080 - A2) no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

A ausência de área com Índice de desenvolvimento acima de 60 está condicionada ao aumento da temperatura na ordem de 1,4 a 5,8°C (KARL; TRENBETH, 2003), fazendo com que a temperatura média ultrapasse a temperatura-limite superior de desenvolvimento de *A. fraterculus*.

Figura 5 - Porcentagem de área por classe de índice de desenvolvimento de *Anastrepha fraterculus* no Brasil, calculada com dados do clima futuro (2080 - A2)

2.3.1.3 Zoneamento ecológico mensal no clima recente (1961 - 1990) (Figuras 6 a 8)

As áreas das classes de Índice de desenvolvimento variam ao longo do ano conforme as condições climáticas (Figura 9).

Os dados para os cenários climáticos recente e futuro obtidos neste estudo são discutidos a seguir, tomando-se por base os estudos desenvolvidos por vários autores, em algumas localidades das regiões brasileiras.

2.3.1.3.1 Região Norte

O zoneamento ecológico mensais (clima recente), para *A. fraterculus* (Figuras 6 a 8) demonstram que em Rio Branco, AC, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* de outubro a abril. A temperatura em todo o ano fica dentro da faixa mesotérmica, portanto, sem restrição à temperatura. De maio a setembro, o município de Rio Branco apresenta déficit hídrico (Figura 10), o que causa restrição ao desenvolvimento da fase de pupa de *A. fraterculus*. No Acre, há poucos estudos sobre moscas-das-frutas, entretanto, *A. fraterculus* não foi registrada nesse estado (THOMAZINI; ALBUQUERQUE; SOUZA FILHO, 2003).

Figura 6 - Mapas mensais do zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus*, para o clima recente (1961 - 1990), de janeiro a abril, no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 7 - Mapas mensais do zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus*, para o clima recente (1961 - 1990), de maio a agosto, no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 8 - Mapas mensais do zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus*, para o clima recente (1961 - 1990), de setembro a dezembro, no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 9 - Porcentagem de área por classe de índice de desenvolvimento de *Anastrepha fraterculus* no Brasil, calculada com dados do clima recente (1961 - 1990)

Figura 10 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

A região Norte (maior região geográfica do país) é a mais deficiente com respeito aos dados meteorológicos. No estado do Amapá, por exemplo em Macapá, o clima é favorável ao desenvolvimento de *A. fraterculus* de janeiro a julho (Figuras 6 a 8 e 11), com restrições hídricas e térmicas de agosto a dezembro. No entanto, não há estudos de flutuação populacional de moscas-das-frutas nesse estado, mas foi registrada a ocorrência de *A. fraterculus* (SILVA; SILVA, 2007; SILVA et al., 2007).

Figura 11 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.1.3.2 Região Nordeste

No município de Teresina, PI, as condições climáticas durante oito meses ao ano são desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*. Há déficit hídrico de maio a dezembro e a temperatura fica acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento (26,78°C), de setembro a dezembro (Figuras 6 a 8 e 12). Nesse município, foi estudada a flutuação populacional durante 64 semanas, quando foram coletaram 92 espécimes de sete espécies de *Anastrepha*, mas sem registro de *A. fraterculus* (SANTOS; PÁDUA, 2004). Em três anos de levantamento nas zonas rural e urbana de Teresina, foram capturados 73 espécimes de *A. fraterculus* capturados de dezembro a fevereiro (MENEZES et al., 2000), entretanto, nesses meses as condições climáticas são menos desfavoráveis à espécie.

No estado do Ceará, de forma geral, há oito meses com condições climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* (Figuras 6 a 8). No município de Jaguaruana, apenas de fevereiro a maio, as condições hídricas são favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*, enquanto as temperaturas são favoráveis em

fevereiro, de maio a agosto e em dezembro. Portanto, somente de fevereiro a maio, as condições climáticas são totalmente favoráveis à ocorrência da espécie (Figura 13). No entanto, em levantamento em 32 municípios do estado do Ceará (OMETTO, 2004), incluindo Jaguaruana, não foi detectada a presença de *A. fraterculus*.

Figura 12 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Figura 13 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Maceió, AL, apenas em janeiro, fevereiro e novembro há restrições hídricas ao desenvolvimento da pupa, nos demais meses as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* (Figuras 6 a 8 e 14). No estado de Alagoas, os estudos com moscas-das-frutas são escassos, mas recentemente foi registrada a ocorrência de *A. fraterculus* no estado (GONÇALVES et al., 2006).

Figura 14 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Petrolina, PE, de outubro a fevereiro, a temperatura fica acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento (26,78°C) de *A. fraterculus* e durante todo ano há baixo índice de precipitação pluvial e déficit hídrico. De dezembro a abril, ocorrem os maiores índices de precipitação pluvial (72 a 148mm). Portanto, as condições climáticas são desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* nessa localidade (Figuras 6 a 8 e 15). Na região de Petrolina e Juazeiro, foram obtidos índices populacionais baixíssimos de moscas-das-frutas (HAJI et al., 1991). Esses autores ressaltaram que as condições climáticas adversas da região semi-árida brasileira, com a pequena disponibilidade hospedeira, são as causas para a ocorrência de baixa densidade populacional de moscas-das-frutas. Entretanto, essas condições alteraram-se com a irrigação da fruticultura na região de Petrolina e Juazeiro, situada no sub-médio do Vale do Rio São Francisco e, portanto, o déficit hídrico foi eliminado e os

hospedeiros frutificaram durante todo o ano. Assim, surgiram as condições climáticas satisfatórias ao desenvolvimento de *A. fraterculus* de março a setembro, quando a temperatura fica dentro da faixa de desenvolvimento da espécie. A partir de 1991, foram verificados picos populacionais de dezembro a abril (HAJI; MIRANDA, 2000).

Figura 15 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Nos municípios de Cruz das Almas, Muritiba e Governador Mangabeira, o clima é favorável ao desenvolvimento de *A. fraterculus*, com as temperaturas mínima e média dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento da espécie. Nascimento et al. (1982) encontraram correlação negativa entre as temperaturas máxima e média com a flutuação populacional de moscas-das-frutas. Com base nos dados daqueles autores, verifica-se que as temperaturas máximas ficam nas faixas hipertérmica e macrotérmica, ou seja, acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *A. fraterculus*, que explicaria a correlação negativa com a temperatura nesses municípios.

Na região de Mossoró/Assu, RN, as condições climáticas são desfavoráveis (temperaturas elevadas e baixa precipitação pluvial) ao desenvolvimento de *A. fraterculus*, mas em fevereiro a temperatura e as condições hídricas são favoráveis ao desenvolvimento da espécie (Figuras 6 a 8 e 16). Em dois anos de levantamento, foram capturadas mais de 155.000 moscas-das-frutas (ARAUJO, 2002), entretanto, nenhum

exemplares de *A. fraterculus* foi capturado. Nove espécies de *Anastrepha* foram registradas em Mossoró (ARAUJO et al., 2005; SANTOS et al., 1998).

Figura 16 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.1.3.3 Região Centro-Oeste

Em Goiânia, GO, de novembro a março, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*. De maio a setembro, quando chove pouco, é período desfavorável à ocorrência da espécie (Figuras 6 a 8 e 17). Os picos populacionais ocorrem de janeiro a março, sendo positiva a correlação da precipitação pluviométrica e da temperatura sobre a flutuação populacional de *Anastrepha* spp. (VELOSO, 1997).

Figura 17 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.1.3.4 Região Sudeste

Em Linhares, ES, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* durante todo o ano, ficando a sua ocorrência dependendo somente da disponibilidade da frutificação de seus hospedeiros (Figuras 6 a 8 e 18). Em levantamento realizado em plantações de mamão, *A. fraterculus* foi a espécie mais freqüente (MARTINS; URAMOTO; MALAVASI, 2000; URAMOTO, 2007), com pico populacional em setembro (MARTINS; URAMOTO; MALAVASI, 2000).

Em Seropédica, RJ, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*. De outubro a abril, os níveis de precipitação pluvial são os mais elevados do ano, sendo esses meses os mais favoráveis ao desenvolvimento da espécie (Figuras 6 a 8 e 19). Nesse município, os picos populacionais de *A. fraterculus* ocorreram de dezembro a maio (AGUIAR-MENEZES; MENEZES, 1996).

Figura 18 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Figura 19 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Com base nos estudos realizados para São Paulo, SP, há condições climáticas favoráveis à ocorrência de *A. fraterculus*, de outubro a março (Figuras 6 a 8 e 20). Os estudos de flutuação populacional de *A. fraterculus* confirmam esses resultados (MALAVASI; MORGANTE, 1981), indicando que as condições climáticas são os fatores responsáveis pela flutuação populacional nesse município.

Figura 20 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Piracicaba, SP, de abril a setembro, ocorrem restrições hídricas (mais acentuadas em julho e agosto), mas, não há restrições térmicas durante o ano (Figuras 6 a 8 e 21), entretanto, as condições climáticas podem variar de ano a ano. Os níveis populacionais de *A. fraterculus* mantêm-se relativamente altos de agosto a novembro, com pico em setembro, quando foram capturadas aproximadamente 40% do total das fêmeas (URAMOTO; WALDER; ZUCCHI, 2003). Nas amostras de frutos, houve maior porcentagem de *A. fraterculus* em setembro e outubro (57,6% do total), em razão das infestações principalmente em uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess.) e em pitanga (*Eugenia uniflora* L.). Segundo aqueles autores, a disponibilidade de uvaia e pitanga, no local amostrado, determinou provavelmente o aumento populacional das moscas-das-frutas. Portanto, nesse caso, a disponibilidade de hospedeiros atuaria mais fortemente do que os fatores climáticos. Além disso, há também a competição interespecífica, que pode restringir a gama de hospedeiros utilizados pelas espécies de moscas-das-frutas.

Figura 21 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Presidente Prudente, SP, as condições climáticas são adequadas ao desenvolvimento de *A. fraterculus*, exceto em agosto, quando há déficit hídrico (Figuras 6 a 8 e 22). Os resultados obtidos por Raga et al. (1996), nesse município, mostram que essa espécie ocorre durante todo o ano, com picos populacionais de junho a novembro em pomares de citros.

Figura 22 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.1.3.5 Região Sul

Na cidade de Lapa, PR, a temperatura fica abaixo do limite inferior de desenvolvimento ($15,26^{\circ}\text{C}$), na faixa hipotérmica, de *A. fraterculus* no período de maio a setembro, desfavorecendo a sua ocorrência nesses meses (Figuras 6 a 8 e 23). Em estudo realizado em pomar de pêssgo, durante a frutificação, foram observados picos populacionais de novembro a janeiro (MONTEIRO et al., 2007), quando a temperatura era adequada ao desenvolvimento de *A. fraterculus*.

Figura 23 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Chapecó e em Água de Chapecó, SC, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* (Figuras 6 a 8 e 24). Apenas em junho e julho, há diminuição no I_d , quando a temperatura média fica próxima à temperatura-base de desenvolvimento da espécie. Entretanto, o desenvolvimento de *A. fraterculus* não é afetado e, assim, a flutuação populacional fica dependente apenas da presença e fenologia das plantas hospedeiras.

Segundo Chiaradia, Milanez e Dittrich (2004), nesses municípios, o número de exemplares capturados em pomares de laranja aumenta principalmente a partir de janeiro até agosto. Na época da maturação da laranja (setembro a dezembro), o

número de exemplares capturados nas armadilhas é pequeno, provavelmente, por migrarem para diversos hospedeiros preferenciais abundância nas proximidades, com frutificação naquele período.

Figura 24 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Nos monitoramentos em pomares de laranja, limão, tangerina e pêssego no município de Chapecó foi obtida infestação acima de uma mosca/armadilha/dia, durante o ano todo. Os menores níveis populacionais ocorreram em fevereiro e dezembro (GARCIA; CAMPOS; CORSEUIL, 2003).

Em Videira, SC, de agosto a maio há condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*, com os picos populacionais de outubro a abril (HICKEL; SCHUCK, 1993; HICKEL; DUCROQUET, 1993, 1994), corroborando os resultados deste trabalho.

Em Vacaria, RS, a exemplo de Bom Jesus (Figura 25), de abril a setembro, a temperatura é o fator limitante, pois fica abaixo da temperatura-limite inferior de desenvolvimento de *A. fraterculus* ($15,26^{\circ}\text{C}$), mas de outubro a março, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*. De outubro a janeiro, foram capturados o maior número exemplares dessa espécie em Vacaria (KOVALESKI, 1997). Segundo esse autor, de março a setembro, as capturas foram sempre menores

do que uma mosca/armadilha/dia. As maiores capturas, nesse período, ocorreram sempre que a temperatura ficou acima de 15°C. Quando a temperatura permaneceu abaixo de 10°C, praticamente não houve as capturas.

Figura 25 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) *Anastrepha fraterculus*, temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.1.4 Zoneamento ecológico mensal no clima futuro (2080 - A2)

No período de maio a novembro, ocorrerão as maiores áreas desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* no Brasil em 2080 (Figuras 26 e 27).

De acordo com a previsão para as condições climáticas no Brasil em 2080, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste serão desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* (Figuras 26, 28 e 29). A temperatura será o fator abiótico que mais influenciará negativamente o desenvolvimento da espécie, pois estará sempre acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento. Os meses mais desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* serão de abril a novembro, levando-se em conta as suas características biológicas atuais.

Figura 26 - Mapas mensais do zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus*, para o clima futuro (2080 - A2) no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 27 - Porcentagem de área por classe de índice de desenvolvimento de *Anastrepha fraterculus* no Brasil, calculada com dados do clima futuro (2080 - A2)

As condições climáticas serão favoráveis nas regiões Sudeste e Sul. O desenvolvimento de *A. fraterculus* nos estados dessas regiões, em razão do clima futuro, será discutido a seguir.

Figura 28 - Índice de desenvolvimento (I_d) mensal de *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima futuro (2080 - A2)

Figura 29 - Índice de desenvolvimento (I_d) mensal de *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima futuro (2080 - A2)

2.3.1.4.1 Região Sudeste

Em Minas Gerais, as condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* ocorrerão de outubro a fevereiro, iniciando pelo sul de Minas Gerais, em outubro (Figura 26) e evoluindo para a parte noroeste. Apenas o nordeste de Minas Gerais ficará desfavorável durante todo ano. Portanto, o crescimento populacional nessa época estará condicionado à frutificação das plantas hospedeiras.

No norte do Espírito Santo, as condições serão desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* o ano todo (Figuras 26 e 30), as condições hídricas serão desfavoráveis ao desenvolvimento da pupa, e de novembro a abril, quando a temperatura ficará acima da temperatura-limite de desenvolvimento. De maio a outubro ficará dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento da espécie. No sul do Espírito

Santo, de janeiro a março e em setembro, as condições serão desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*. De janeiro a março, a temperatura ficará acima da temperatura-limite de desenvolvimento da espécie e, em setembro, as condições hídricas serão desfavoráveis. Se o déficit hídrico for suprido (p.ex., irrigação de pomares), *A. fraterculus* poderá ocorrer nos meses em que a temperatura for favorável.

Em Seropédica, RJ, a temperatura, de abril a dezembro, ficará dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento de *A. fraterculus*. As condições hídricas, de fevereiro a setembro, apresentarão restrições ao desenvolvimento da pupa. Portanto, somente de setembro a dezembro, as condições climáticas de Seropédica serão favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*.

Figura 30 - Índice de desenvolvimento (I_d) mensal de *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima futuro (2080 - A2)

2.3.1.4.2 Região Sul

No estado do Paraná, as condições climáticas serão favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* nos meses de junho, outubro e dezembro. Em janeiro e fevereiro, a temperatura ficará acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento e as condições hídricas serão favoráveis ao desenvolvimento da pupa somente em janeiro, fevereiro, junho e outubro.

Em Santa Catarina, de abril a outubro e em dezembro, as condições climáticas serão favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*. A temperatura, em novembro e

de janeiro a março, ficará acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento da espécie. As condições hídricas serão desfavoráveis ao desenvolvimento da pupa de novembro a abril e em agosto.

No Rio Grande do Sul, as condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus* ocorrerão de maio a outubro e em dezembro (Figura 31). Somente em janeiro e fevereiro, a temperatura estará acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento, sendo que as condições hídricas, em novembro e de janeiro a abril, serão desfavoráveis ao desenvolvimento da pupa.

Figura 31 - Índice de desenvolvimento (I_d) mensal de *Anastrepha fraterculus*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima futuro (2080 - A2)

Na região Sul, o principal fator de restrição ao desenvolvimento de *A. fraterculus* será o déficit hídrico. Entretanto, se essa condição for eliminada por meio da irrigação, o período favorável estenderá pelos meses que a temperatura estiver dentro da faixa mesotérmica e quando houver frutos hospedeiros disponíveis.

Com base nos dados de flutuação populacional de *A. fraterculus* disponíveis na literatura, e no índice de desenvolvimento, verifica-se que as localidades mais propícias ao desenvolvimento de *A. fraterculus* localizam-se nas regiões Sudeste e Sul. Essas regiões apresentam temperaturas médias mensais dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento da espécie, período curto de estiagem e diversas espécies de plantas hospedeiras. Por outro lado, as localidades com condições menos favoráveis ao desenvolvimento *A. fraterculus* estão na região do semi-árido (região Nordeste), onde

as temperaturas ficam sempre acima da temperatura-limite de desenvolvimento da espécie e as condições hídricas são desfavoráveis ao desenvolvimento da fase de pupa.

Com o aumento da temperatura devido ao aquecimento global previsto para 2080 (cenário A2), as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste serão completamente desfavoráveis ao desenvolvimento de *A. fraterculus*.

Na região Sul e parte da Sudeste, a temperatura ficará dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento de *A. fraterculus*, mesmo com o aumento da temperatura. Somente em alguns meses, excederá a temperatura-limite superior de desenvolvimento. No entanto, as condições hídricas serão desfavoráveis em grande parte do ano.

Apesar dos escassos trabalhos existentes no Brasil, é interessante verificar como as mudanças climáticas no futuro afetarão diferentemente as espécies de insetos-praga. Como discutido neste trabalho, as mudanças climáticas futuras desfavorecerão, de modo geral, o desenvolvimento de *A. fraterculus*, se a espécie mantiver as características biológicas consideradas neste estudo. Por outro lado, as condições futuras acarretarão aumento no número de gerações de *L. coffeella* (bicho-mineiro-do-cafeeiro), favorecendo o seu crescimento populacional (HAMADA; GHINI; GONÇALVES, 2006).

2.3.2 *Ceratitis capitata*

2.3.2.1 Zoneamento ecológico anual no clima recente (1961 -1990) (Figura 32)

No zoneamento anual de *C. capitata* para o clima recente as áreas com os menores índices de desenvolvimento (0 - 20), aproximadamente 3% do território brasileiro (Figura 33), estão localizadas na região central do Piauí, no oeste de Pernambuco, norte da Bahia e no Rio Grande do Norte. Essa área é a mais desfavorável ao desenvolvimento de mosca-do-mediterrâneo por apresentar altas temperaturas e condições hídricas naturais, que prejudicam a fase de pupa.

Figura 32 - Zoneamento ecológico anual de *Ceratitidis capitata* para o clima recente (1961 - 1990) no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, ou seja, em ampla parte do território nacional (aproximadamente 70%) apresentam Índices de desenvolvimento de 20 a 40, ou seja, essas regiões apresentam restrições ao desenvolvimento da mosca-do-mediterrâneo. Esses Índices de desenvolvimento são decorrentes principalmente da influência das altas temperaturas que ocorrem nessas regiões.

O oeste do Acre, o sudoeste do Amazonas, o sudeste da Bahia, Espírito Santo, Norte do Rio de Janeiro, parte de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e de São Paulo apresentam Índices de desenvolvimento de 40 a 60, ocupando 19,27% do Brasil. Assim, nessas regiões as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*, embora em alguns meses haja restrições.

Figura 33 - Porcentagem de área por classe de índice de desenvolvimento de *Ceratitis capitata* no Brasil, calculada com dados do clima recente (1961 - 1990)

O Sul do Brasil é a região mais favorável ao desenvolvimento de *C. capitata*, apresentando Índices de desenvolvimento entre 60 a 100. Uma pequena área (0,22%) do território brasileiro, altamente favorável ao desenvolvimento de *C. capitata* (Índices de desenvolvimento de 80 a 100), está localizada no sudoeste do Paraná.

2.3.2.2 Zoneamento ecológico anual no clima futuro (2080 - A2) (Figura 32)

A previsão para 2080, no cenário A2, é que a maior parte do Brasil apresentaria Índices de desenvolvimento entre 0 e 20, ou seja, as condições climáticas seriam desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*. Os estados do Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais apresentariam Índices de desenvolvimento entre 20 e 40, representando 12,11% do território nacional. Apenas os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul estariam com Índices de desenvolvimento entre 40 e 60 (os maiores para essa previsão), em aproximadamente 4% do território brasileiro.

Esse visível crescimento das áreas com baixo Índice de desenvolvimento é causado principalmente pela previsão de aumento na temperatura na ordem de 1,4 a 5,8°C (KARL; TRENBETH, 2003) (Figuras 34 e 35). A temperatura média ficaria acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata* (24,49°C).

Figura 34 - Zoneamento ecológico anual de *Ceratitis capitata* para o clima futuro (2080 - A2) no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 35 - Porcentagem de área por classe de índice de desenvolvimento de *Ceratitis capitata* no Brasil, calculada com dados do clima futuro (2080 - A2)

2.3.2.3 Zoneamento ecológico mensal no clima recente (1961 - 1990) (Figura 36 a 38)

Os mapas do zoneamento mensal de *C. capitata* para o clima recente são apresentados na Figuras 36 a 38. As áreas mais extensas com os menores Índices de desenvolvimento mensais ocorrem de junho a novembro. De dezembro a maio, as maiores áreas apresentam Índices de desenvolvimento mensais entre 2 e 6 (Figura 39).

Os resultados são discutidos a seguir com base nos estudos de levantamento e de flutuação populacional de *C. capitata* realizados por vários autores, em algumas localidades do Brasil.

2.3.2.3.1 Região Norte

O clima da região Norte é quente e úmido, com temperatura acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata* (24,49°C). A ocorrência de *C. capitata* em Manaus e Itacoatiara, AM, é desfavorecida pelas altas temperaturas dessa região que fica o ano todo acima da sua temperatura-limite superior de desenvolvimento. As condições hídricas em Manaus são favoráveis ao desenvolvimento da fase de pupa de novembro a maio e no restante do ano é desfavorável (Figura 40). Em Itacoatiara, as condições hídricas são favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* de janeiro a junho e desfavoráveis de julho a dezembro.

Silva (1993) sugeriu que *C. capitata* pode ter sido introduzida na região Amazônica pela importação de grande quantidade de frutas, sem restrição quarentenária, do Estado de São Paulo onde está estabelecida. Entretanto, o não estabelecimento de *C. capitata* na região Norte é devido às condições climáticas locais desfavoráveis (altas temperaturas), conforme os resultados obtidos neste trabalho.

Figura 36 - Zoneamento ecológico de *Ceratitidis capitata*, para o clima atual (1961 - 1990), de janeiro a abril, no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 37- Zoneamento ecológico de *Ceratitidis capitata*, para o clima atual (1961 - 1990), de maio a agosto, no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 38 - Zoneamento ecológico de *Ceratitits capitata*, para o clima atual (1961 - 1990), de setembro a dezembro, no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

Figura 39 - Porcentagem de área por classe de índice de desenvolvimento de *Ceratitis capitata* no Brasil, calculada com dados do clima recente (1961 - 1990)

Figura 40 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

A temperatura em Belém, PA, é o fator limitante à ocorrência de *C. capitata*, pois permanece acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento da espécie (24,49°C) o ano todo. Entretanto, as condições hídricas são favoráveis o ano inteiro (Figura 41). Apesar de a temperatura ser desfavorável, *C. capitata* foi registrada em Belém e em Quatro Bocas, distrito de Tomé-Açu, PA (SILVA; URAMOTO; MALAVASI, 1998).

Figura 41 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Boa Vista, RR, a restrição à ocorrência de *C. capitata* é a temperatura elevada no decorrer do ano e, de outubro a março, as condições hídricas também são desfavoráveis ao desenvolvimento da espécie (Figura 42).

Em Porto Velho, RO, de junho a julho, as temperaturas são favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*, entretanto, esses são os únicos meses com condições hídricas desfavoráveis ao desenvolvimento da pupa de *C. capitata*. Dessa forma, nesse município, as condições climáticas são desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* o ano todo (Figura 43). No entanto, foi registrada a ocorrência de *C. capitata* no município de Ouro Preto D'Oeste, RO, que fica mais ao sul de Porto Velho (RONCHI-TELES; SILVA, 1996).

Figura 42 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitís capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Os registros em locais desfavoráveis revelam a grande capacidade de adaptação da mosca-do-mediterrâneo, que a torna a espécie de tefritídeo mais invasiva em todo o mundo.

Figura 43 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitís capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

As temperaturas médias mensais em Porto Nacional, TO, estão sempre acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata* (24,49°C), portanto, desfavorável ao desenvolvimento da espécie. Entretanto, as condições hídricas de outubro a abril são favoráveis ao desenvolvimento da fase de pupa de *C. capitata* (Figura 44). Provavelmente, essa seria a razão da coleta de alguns exemplares no levantamento de junho a dezembro de 2002 em Porto Nacional (BOMFIM; UCHÔA-FERNANDES; BRAGANÇA, 2007). Portanto, estudos adicionais são necessários para comprovar se *C. capitata* está se adaptando às condições climáticas desse município.

Figura 44 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.2.3.2 Região Nordeste

Em Teresina, PI, as temperaturas médias mensais ficam acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata* (24,49°C), exceto em fevereiro e em junho, que ficam dentro da faixa mesotérmica da espécie. De maio a dezembro, as condições hídricas são extremamente desfavoráveis ao desenvolvimento da fase de pupa e apenas de janeiro a abril, as condições hídricas favorecem o desenvolvimento da fase de pupa, mas a temperatura é desfavorável. Portanto, as condições climáticas são desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* nesse município (Figura 45). Essa informação concorda com Menezes et al. (2000) e Santos e Pádua (2004), que

afirmaram que a mosca-do-mediterrâneo não ocorre em Teresina. Todavia, aqueles autores consideraram que as moscas-das-frutas não são pragas nesse município pela ausência de grandes áreas de fruticultura aliada ao clima desfavorável na maior parte do ano e, sugeriram a realização de estudos com climogramas para comprovar essa hipótese (SANTOS; PÁDUA, 2004).

Figura 45 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Fortaleza, CE, a temperatura média fica sempre acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata*. De agosto a dezembro, a precipitação pluvial é baixa causando déficit hídrico, que compromete o desenvolvimento da fase de pupa (Figura 46). A espécie ocorre durante todo o ano em pomar de goiaba no município de Fortaleza, com picos populacionais de janeiro a abril (MOURA; MOURA, 2006). Esses picos poderiam ser explicados pelo balanço hídrico favorável, em parte do ano (janeiro a julho), ao desenvolvimento de *C. capitata*.

As condições climáticas em Mossoró, RN, são desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*. As temperaturas médias mensais ficam sempre acima da sua temperatura-limite superior de desenvolvimento e, de junho a janeiro, há déficit hídrico. Apenas de fevereiro a maio, ocorre precipitação pluvial suficiente para que a espécie complete o seu ciclo biológico sem estresse hídrico (Figura 47).

Figura 46 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Figura 47 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Nos levantamentos de moscas-das-frutas realizados até 1993 no Estado do Rio Grande do Norte, não havia registro de *C. capitata* (ARAUJO et al., 1996). Entretanto, em Mossoró, de agosto de 1995 a julho de 1996, foram capturados 42 exemplares de *C. capitata* (setembro a fevereiro e de maio a julho), em pomar de manga próximo aos pomares domésticos com grande diversidade de fruteiras (AZEVEDO JR. et al., 1998). Em pomar de acerola, foram obtidas infestações de 29 a 173 pupários por quilograma de frutos (de janeiro a abril), com pico de infestação em abril (SOUZA et al., 1999). Nos

levantamentos mais recentes realizados em Mossoró e Assu, RN, *C. capitata* foi a espécie mais capturada (127.748 espécimes) (ARAUJO, 2002) e a mais polífaga, infestando 13 espécies de frutos (ARAUJO et al., 2005). Entretanto, as altas populações ocorrem em focos isolados em alguns pomares irrigados de frutíferas exóticas. Portanto, esses pomares irrigados formaram microclimas favoráveis ao estabelecimento da mosca-do-mediterrâneo em Mossoró e Assu.

Em Natal, RN, o desenvolvimento de *C. capitata* é comprometido pelas condições climáticas. A temperatura média fica sempre acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento da espécie, e as condições hídricas de agosto a janeiro são desfavoráveis ao desenvolvimento da fase de pupa (Figura 48). Em Guarapes, bairro de Natal, a espécie foi capturada em baixos níveis populacionais durante o ano todo, mas os maiores níveis foram obtidos de março a setembro (LIMA, 1997). A presença de *C. capitata* em regiões com clima desfavorável estaria condicionada aos microclimas favoráveis ou adaptações biológicas (mudança nas exigências térmicas).

No município de Ceará-Mirim, RN, de julho a setembro, a temperatura fica dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento de *C. capitata* e no restante do ano a temperatura fica acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento. As condições hídricas são desfavoráveis ao desenvolvimento da fase de pupa de *C. capitata* de outubro a janeiro (Figura 48). Em Massanduba, distrito do município de Ceará-Mirim, ocorrem picos populacionais de junho a setembro e praticamente não há capturas nos demais meses (LIMA, 1997).

Em Petrolina, PE, há déficit hídrico o ano todo, com precipitações pluviais acima de 50 mm de novembro a abril e temperaturas médias mensais acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata*. Portanto, com essas condições climáticas, só em março (Índice de desenvolvimento = 3), seria possível a ocorrência de *C. capitata*, mas com baixos índices populacionais (Figura 49).

Figura 48 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Ceratitidis capitata foi capturada quase que exclusivamente na zona urbana de Petrolina, PE, e Juazeiro, BA, com baixos índices populacionais durante todo ano e com picos de fevereiro a abril, período de maior precipitação pluvial (HAJI et al., 1991). Com a implantação do pólo de fruticultura irrigada, a população de *C. capitata* cresceu, sendo capturados até 500 exemplares por mês (outubro a abril) em pomares de manga e com picos populacionais de até 1.800 exemplares por mês na zona urbana (HAJI; MIRANDA, 2000). A irrigação suprimiu o déficit hídrico e criou um microclima favorável à ocorrência de *C. capitata*. Na zona urbana, as frutíferas exóticas de fundo de quintal proporcionaram a manutenção e desenvolvimento da espécie (HAJI et al., 1991).

Figura 49 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Caetité, região da Serra Geral, na Bahia, a temperatura é favorável ao desenvolvimento de *C. capitata*. Todavia, de maio a setembro, as condições hídricas são desfavoráveis ao desenvolvimento da fase de pupa (Figura 50).

Figura 50 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Livramento de Brumado, município vizinho a Caetité, há predominância de *C. capitata* nos levantamento em pomares de manga (99,39% dos exemplares) (NASCIMENTO; CARVALHO, 2000). As condições hídricas nessa localidade são os

fatores limitantes no crescimento populacional, entretanto, a irrigação proporciona as condições favoráveis o ano todo.

2.3.2.3.3 Região Centro-Oeste

Em Goiânia, GO, apenas em setembro e em outubro, a temperatura é desfavorável ao desenvolvimento de *C. capitata* e de maio a setembro, as condições hídricas são desfavoráveis ao desenvolvimento da fase de pupa. Deste modo, a época favorável à ocorrência vai de novembro a abril (Figura 51). Entretanto, os picos populacionais de julho a novembro (VELOSO, 1997) ocorrem em clima desfavorável. Nesse município, as populações de *C. capitata* são influenciadas por outros fatores, além dos climáticos. Além disso, os fatores climáticos sofrem influência das condições intrínsecas dos locais de coleta. Por exemplo, a temperatura está sendo analisada com base nas temperaturas médias mensais, portanto, as condições microclimáticas, que possam ocorrer, não foram avaliadas. Além disso, os dados estão sendo analisados para solos arenosos, nos quais a viabilidade pupal aumenta com o aumento da umidade no solo. Entretanto, em solos argilosos, a viabilidade pupal diminui com o aumento da umidade do solo (MILWARD-DE-AZEVEDO; PARRA, 1989). Portanto, condições microclimáticas, variações anuais do clima ou tipo de solo poderiam atuar favoravelmente sobre a ocorrência da mosca-do-mediterrâneo em Goiânia, mesmo com índice de desenvolvimento inadequado à espécie.

As condições climáticas em Brasília, DF, são favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* (setembro a maio) e desfavoráveis (junho a agosto), quando a precipitação pluvial é muito baixa, ocorrendo estresse hídrico no desenvolvimento (Figura 52). Os picos populacionais acima do nível de controle ocorrem na estação chuvosa (outubro a maio). Durante a estação seca (junho a setembro), a população fica abaixo do nível de controle com correlação positiva com a temperatura, a umidade relativa e a precipitação pluvial (ZAHLER, 1990).

Figura 51 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Figura 52 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.2.3.4 Região Sudeste

No sul de Minas Gerais, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* o ano todo, com os maiores Índices de desenvolvimento obtidos de setembro a maio, como no município de Machado (Figura 53). No município de Caldas, MG, o início das capturas de *C. capitata* foi de outubro a fevereiro, alcançando o pico máximo em janeiro (ROSSI; MATIOLI; BUENO, 1988).

Figura 53 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

No norte de Minas Gerais, em geral, as temperaturas médias mensais são favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* e de maio a setembro as condições climáticas naturais são desfavoráveis, pois a precipitação pluvial é insuficiente para o desenvolvimento da fase de pupa (Figura 54).

Figura 54 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

O pico populacional de *C. capitata* ocorre de setembro a outubro em Nova Porteirinha, MG, contudo, há longos períodos sem capturas (CANAL, 1997). Na zona

urbana de Janaúba, MG, *C. capitata* foi coletada continuamente durante o ano e os menores índices populacionais foram de abril a julho (CANAL; ALVARENGA; ZUCCHI, 1998). Em Jaíba, MG, ocorre de agosto a janeiro com pico populacional em dezembro, sendo *C. capitata* a segunda espécie que mais contribuiu para o índice de infestação em goiaba (CORSATO, 2004). Nessa região, há um pólo de fruticultura irrigada, que proporciona as condições para a ocorrência de *C. capitata* durante o ano todo. Os picos populacionais ficam dependentes exclusivamente da disponibilidade de frutos hospedeiros.

No norte do Espírito Santo, Linhares, a temperatura de dezembro a março fica acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata*, conseqüentemente, esses meses são desfavoráveis à ocorrência da espécie (Figura 55). A mosca-do-mediterrâneo é a espécie mais importante para a cultura do mamão no Espírito Santo (MARTINS; ALVES, 1988). Os picos populacionais ocorrem de maio a julho nos plantações de mamão (MARTINS; URAMOTO; MALAVASI, 2000), quando as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento da praga.

Figura 55 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Seropédica, RJ, a disponibilidade hídrica durante todo o ano e a temperatura de abril a novembro favorecem o desenvolvimento de *C. capitata*, mas as temperaturas médias mensais (dezembro a março) ficam além da temperatura-limite superior de

desenvolvimento da espécie. Dessa forma, o período favorável à ocorrência de *C. capitata* é de abril a novembro (Figura 56).

Figura 56 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Seropédica, o crescimento populacional de *C. capitata* vai de março a setembro e as maiores coletas são realizadas de junho a agosto. Durante o verão, a população diminui. Os menores níveis populacionais ocorrem principalmente de dezembro a fevereiro, quando as temperaturas são mais elevadas (acima de 27°C) (AGUIAR-MENEZES; MENEZES, 1996) e também acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata*.

A temperatura média, em Campinas, SP, permanece dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento de *C. capitata* todo ano e não há déficit hídrico que prejudique o desenvolvimento da espécie. Dessa forma, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*; os níveis populacionais ficam dependentes da disponibilidade de frutos hospedeiros (Figura 57). Os fatores climáticos (temperatura, umidade relativa, precipitação pluvial e vento) explicam até 74,26% da flutuação populacional da espécie, com maior influência da temperatura (até 49,66%). O pico populacional em cafezais ocorre de maio a setembro, coincidindo com a fase de maturação dos frutos (PARRA; ZUCCHI; SILVEIRA NETO, 1982).

Figura 57 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitis capitata*, temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

De janeiro a março, a temperatura em Pindorama, SP, fica na faixa hipertérmica de desenvolvimento de *C. capitata* e de abril a dezembro na faixa mesotérmica. Em julho e agosto, o déficit hídrico compromete o desenvolvimento da fase de pupa (Figura 57). O pico populacional de adultos de *C. capitata* em cafezais ocorre de abril a julho (PARRA; ZUCCHI; SILVEIRA NETO, 1982), quando as condições são favoráveis ao desenvolvimento da mosca-do-mediterrâneo.

Em São Roque e em São Paulo, SP, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* (Figura 58), capturada continuamente no cafezal. Os picos populacionais ocorrem de março a julho em pomar de citros, de julho a dezembro em cafezal e em novembro e dezembro em pomar de pêssego (PUZZI; ORLANDO,

1965). Como as temperaturas médias mensais não são limitantes ao desenvolvimento de *C. capitata*, o crescimento populacional nessas condições climáticas é dependente exclusivamente da disponibilidade de frutos hospedeiros.

Figura 58 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

Em Presidente Prudente, SP, as temperaturas médias mensais ficam acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento de *C. capitata* de dezembro a março, causando estresse térmico. O Índice de desenvolvimento em agosto é baixo por causa da precipitação pluvial escassa (Figura 59). Nesse município, as maiores capturas ocorrem de julho a novembro e as menores, de fevereiro a abril (RAGA et al., 1996).

Essa diminuição na captura nesses meses deve ter sido influenciada pelas altas temperaturas, que ocorrem de dezembro a março.

Figura 59 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.2.3.5 Região Sul

A temperatura é favorável ao desenvolvimento de *C. capitata* no município de Chapecó, SC, de agosto a maio. Em junho e julho, a temperatura fica abaixo da temperatura-limite inferior de desenvolvimento da espécie. Nesse município, não há restrições hídricas para o desenvolvimento da fase de pupa (Figura 60). A baixa infestação de *C. capitata* de dezembro a julho em comparação às espécies de *Anastrepha* pode ser em razão do processo adaptativo da mosca-do-mediterrâneo na região (CHIARADIA; MILANEZ; DITTRICH, 2004). Entretanto, com base nos Índices de desenvolvimento obtidos neste trabalho, na época da ausência de *C. capitata* no pomar, as condições climáticas são favoráveis à sua ocorrência. Portanto, a explicação para esse fato pode ser a disponibilidade de outros hospedeiros preferenciais, competição inter-específica ou até mesmo problemas no procedimento de coleta (viabilidade, secamento e descarte do atraente etc.).

Figura 60 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima recente (1961 - 1990)

2.3.2.4 Zoneamento ecológico mensal no clima futuro (2080 - A2)

No futuro, deverá haver aumento das áreas desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* (Figuras 61 e 62), em razão do aumento previsto da temperatura, na ordem de 1,4 a 5,8°C (KARL; TRENBETH, 2003), considerando-se o comportamento de *C. capitata* com base nos dados biológicos atuais.

A temperatura, a precipitação pluvial, umidade e outros parâmetros climáticos afetam várias atividades biológicas (taxas de desenvolvimento, reprodução, distribuição, migração e adaptação). Além disso, os efeitos indiretos poderão ocorrer por meio da influência do clima sobre as suas plantas hospedeiras, inimigos naturais e interações interespecíficas com outros insetos. Assim, mudanças climáticas resultantes do aumento dos níveis de gases do efeito estufa na atmosfera poderiam ter um impacto significativo no desenvolvimento, na distribuição e na densidade populacional de insetos-praga (PORTER; PARRY; CARTER, 1991).

A previsão do aumento da temperatura causado pelo aquecimento global tornará as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste ainda mais desfavoráveis ao desenvolvimento da mosca-do-mediterrâneo (Figuras 61 e 63). A temperatura média em Belém, Manaus, Mossoró e Petrolina, por exemplo, ficará acima da temperatura-limiar superior de desenvolvimento de *C. capitata* (28,91°C).

Figura 61 - Zoneamento ecológico mensal de *Ceratitidis capitata* para o clima futuro (2080 - A2) no Brasil, baseado no índice de desenvolvimento

As condições hídricas também serão desfavoráveis, uma vez que o aumento da temperatura implica em aumento da evapotranspiração, causando uma rápida diminuição da umidade do solo e desfavorecendo o desenvolvimento da pupa.

Figura 62 - Porcentagem de área por classe de índice de desenvolvimento de *Ceratitidis capitata* no Brasil, calculada com dados do clima futuro (2080 - A2)

Figura 63 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitidis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima futuro (2080 - A2)

Nas condições climáticas naturais (sem irrigação), a região Sudeste será desfavorável ao desenvolvimento de *C. capitata*. Por exemplo, em Linhares, Seropédica e São Roque, de setembro a abril (Figura 64), a temperatura ficará acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento da mosca-do-mediterrâneo (24,49°C). De maio a agosto, a temperatura permanecerá dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento, mas nesses meses as condições hídricas serão desfavoráveis. Entretanto, se forem supridas (irrigação), esse período terá condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*.

Figura 64 - Índice desenvolvimento mensal (I_d) de *Ceratitis capitata*, temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do clima futuro (2080 - A2)

Em todo o Brasil, apenas parte da região Sul será favorável ao desenvolvimento da mosca-do-mediterrâneo de maio a outubro (Figura 61 e 64) sendo julho mais favorável. Nesses meses, a temperatura ficará dentro da faixa mesotérmica de

desenvolvimento e de novembro a abril acima do limite superior de desenvolvimento (24,49°C) e as condições hídricas também serão desfavoráveis.

No cenário do clima recente, as regiões Norte e Nordeste são desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata* pelas temperaturas elevadas durante o ano todo. No Nordeste, também as condições hídricas só são favoráveis em curto período do ano. Na região Centro-Oeste, de março a agosto, parte do Mato Grosso do Sul e Goiás são desfavoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*, em razão da precipitação pluvial baixa. Na região Sudeste, o período de setembro a março é favorável ao desenvolvimento, em razão da temperatura e condição hídrica adequadas. Na região Sul, apenas em maio e junho, quando ocorrem as menores temperaturas, o período é desfavorável ao desenvolvimento de *C. capitata*.

Na previsão para 2080, apenas os estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul terão condições climáticas favoráveis (I_d entre 40 e 60) ao desenvolvimento da mosca-do-mediterrâneo, devido principalmente ao aumento da temperatura causado pelo aquecimento global.

É preciso ressaltar que a ocorrência de *C. capitata* em determinada região não pode ser explicada somente pelos fatores climáticos, pois a espécie pode ocorrer em locais com condições climáticas adversas. Por exemplo, *C. capitata* ocorre em Goiânia sob condições climáticas desfavoráveis, portanto, outros fatores precisariam ser determinados para explicar a dinâmica populacional nesse município. Em realidade, é preciso considerar os fatores bióticos e também os fatores intrínsecos da própria espécie, que têm possibilitado à mosca-do-mediterrâneo estabelecer-se em curto espaço de tempo em regiões, que não apresentariam condições favoráveis ao seu desenvolvimento, como ocorreu na região do semi-árido de Mossoró-Assú.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizando o índice de desenvolvimento, calculado com base nas temperaturas e umidades do solo favoráveis ou desfavoráveis ao desenvolvimento das espécies estudadas, verificou-se que no clima atual a região nordeste é desfavorável ao desenvolvimento tanto de *A. fraterculus* como de *C. capitata*, devido às temperaturas altas e às precipitações pluviais baixas. Nas regiões Norte e Centro-Oeste apresentam restrições à ocorrência da mosca-do-mediterrâneo principalmente por causa das altas temperaturas dessas regiões. As regiões Sudeste e Sul apresentam condições climáticas favoráveis a ocorrência das duas espécies.

Com as previsões para 2080 no cenário A2, haverá restrições na distribuição das espécies estudadas em razão do aumento da temperatura. As regiões Sudeste e Sul apresentariam condições climáticas favoráveis à ocorrência de *A. fraterculus* e somente a região Sul condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de *C. capitata*. Com o aumento da temperatura na região Sul, haverá uma inversão dos meses favoráveis e desfavoráveis ao desenvolvimento das espécies estudadas. A temperatura dos meses favoráveis atualmente aumentará e ficará acima da temperatura-limite superior de desenvolvimento e os meses que apresentam baixas temperaturas terão temperatura dentro da faixa mesotérmica de desenvolvimento das duas espécies.

A taxa de desenvolvimento é influenciada por fatores que podem modificar a temperatura-base e os limites térmicos de desenvolvimento dos insetos. Um desses fatores é a qualidade do alimento que pode interferir fortemente na taxa de desenvolvimento dos insetos (PARRA, 1991). As exigências térmicas de uma espécie podem mudar com adaptações ecológicas, adaptação de populações ao clima onde ocorrem.

O aquecimento global pode potencialmente afetar vários aspectos do ciclo de vida e ecologia dos insetos, especialmente aqueles diretamente controlados por variáveis de disponibilidade de energia como os graus-dia. Por conseguinte, respostas potenciais dos animais incluem mudanças nos padrões fenológicos, mudanças na seleção de habitat, expansão e contração geográfica e altitudinal da área de sua ocorrência (MENÉNDEZ, 2007).

As mudanças climáticas também podem afetar os insetos indiretamente, pois podem responder às mudanças climáticas induzidas por outros fatores. Esses fatores podem incluir interação com outra espécie (competição, predação e parasitismo) ou para insetos herbívoros interação com as plantas hospedeiras. O aquecimento global pode afetar a estrutura das comunidades existentes porque respostas individuais inevitavelmente alterarão interações de espécie e conduzirão a mudanças na composição das comunidades naturais (MENÉNDEZ, 2007).

Essa fase exploratória do zoneamento ecológico forneceu informações sobre as condições que favorecem ou não o desenvolvimento de *A. fraterculus* e *C. capitata* e abriu perspectivas para novas análises, na medida que outros parâmetros sejam incorporados ao sistema. As previsões futuras foram baseadas nas necessidades atuais das duas espécies em relação aos fatores ambientais (temperatura e umidade do solo). Com base na análise desses dois fatores, as condições climáticas futuras serão mais desfavoráveis a *C. capitata* (espécie exótica) do que a *A. fraterculus* (espécie nativa). Por outro lado, a mosca-do-mediterrâneo tem se adaptado rapidamente aos mais diversos ecossistemas, tornando-se a espécie de tefritídeo mais invasiva em todo o mundo. Assim, a mosca-do-mediterrâneo poderá se adaptar ao aumento de temperatura previsto para 2080, bem como a mosca-das-frutas sul-americana. Entretanto, em se tratando de espécies frugívoras, é preciso considerar também, que as condições naturais favoráveis à manutenção de suas plantas hospedeiras serão cruciais à sobrevivência das moscas-das-frutas, independentemente das características biológicas intrínsecas desses insetos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR-MENEZES, E.L.; MENEZES, E.B. Flutuação populacional das moscas-das-frutas e sua relação com a disponibilidade hospedeira em Itaguaí, RJ. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 25, n. 2, p. 223-232, ago. 1996.

ALUJA, M. Bionomics and management of *Anastrepha*. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 39, p. 155-178, 1994.

ALUJA, M.; CELEDONIO-HURTADO, H.; LIEDO, P.; CABRERA, M.; CASTILLO, F.; GUILLÉN, J.; RIOS, E. Seasonal population fluctuations and ecological implications for management of *Anastrepha* fruit flies (Diptera: Tephritidae) in commercial mango orchards in Southern Mexico. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 89, p. 654-667, 1996.

ARAUJO, E.L. **Dípteros frugívoros (Tephritidae e Lonchaeidae) na região de Mossoró / Assu, Estado do Rio Grande do Norte**. 2002. 112 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

ARAUJO, E.L.; ZUCCHI, R.A. Moscas-das-frutas (Díptera: Tephritidae) em goiaba (*Psidium guajava* L.), em Mossoró, RN. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 73-77, jan./mar. 2003.

ARAUJO, E.L.; MEDEIROS, M.K.M.; SILVA, V.E.; ZUCCHI, R.A. Moscas-das-Frutas (Diptera: Tephritidae) no Semi-Árido do Rio Grande do Norte: Plantas Hospedeiras e Índices de Infestação. **Neotropical Entomology**, Vacaria, v. 34, n. 6, p. 889-894, nov./dez. 2005.

ARAUJO, E.L.; ZUCCHI, R.A.; MALAVASI, A.; NEGREIROS, J. Levantamento de moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha* Schiner, 1868 (Dip., Tephritidae) nos municípios de Mossoró e Assu - RN. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 71, n. 2, p.225-232, 1996.

ARRIGONI, E.B. **Dinâmica populacional de moscas-das-frutas (Diptera - Tephritidae) em três regiões do Estado de São Paulo**. 1984. 165p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade São Paulo. Piracicaba, 1984.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1057-1064, 2004.

AZEVEDO JR., G.H.; FILGUEIRA, M.A.; CHAVES, J.W.N.; SILVA, V.E. Levantamento de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae) na cultura da manga, no município de Mossoró - RN. **Caatinga**, Mossoró, v. 11, n. 1/2, p. 85-90, 1998.

BAKER, A.C.; STONE, W.E.; PLUMMER, C.C.; McPHAIL, M.A. **A review of studies on the Mexican fruit fly and related Mexican species**. Washington: USDA, 1944. 155 p. (Miscellaneous Publication, 531).

BAKER, E.W. Studies on the Mexican fruit fly known as *Anastrepha fraterculus*. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 38, p. 95-100, 1945.

BAKER, R.H.A.; SANSFORD, C.E.; JARVIS, C.H.; CANNONA, R.J.C.; MacLEODA, A.; WALTERS, K.F.A. The role of climatic mapping in predicting the potential geographical distribution of non-indigenous pests under current and future climates. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 82, p. 57-71, 2000.

BATEMAN, M.A. The ecology of fruit flies. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 17, p. 493-518, 1972.

BAUMHOVER, A.H. Susceptibility of screw-worm larvae and prepupae to desiccation. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 56, n. 4, p. 473-475, 1963.

BERNAL, J.; GONZÁLES, D. Experimental assessment of a degree-day model for predicting the development of parasites in the field. **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v. 116, p. 459-466, 1993.

BERTELS, A. Estudos da influência da umidade sobre a dinâmica de populações de lepidópteros, pragas do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 5, p. 67-79, 1970.

BOMFIM, D.A.; UCHÔA-FERNANDES, M.A.; BRAGANÇA, M.A.L. Biodiversidade de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritoidea) em matas nativas e pomares domésticos de dois municípios do Estado do Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 51, n. 2, p. 217-223, jun. 2007.

BRAMAN, S.K.; PENDLEY, A.F.; SPARKS, B.; HUDSON, W.G. Thermal requirements for development, population trends, and parasitism of azalea lace bug (Heteroptera: Tingidae). **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v. 85, p. 870-877, 1992.

BRESSAN-NASCIMENTO, S. Emergence and pupal mortality factors of *anastrepha obliqua* (Macq.) (Diptera: Tephritidae) along the fruiting season of the host *Spondias dulcis* L. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 2, p.207-215, 2001.

BRYANT, S.R.; THOMAS, C.D.; BALE, J.F. Nettle-feeding nymphalid butterflies: temperature, development and distribution. **Ecological Entomology**, Hardcover, Canadá, v. 22, n. 4, p. 390-398, 1997.

BUTTLER JÚNIOR, G.D.; LOPEZ, J.D. *Trichogramma pretiosum*: Development in two hosts in relation to constant and fluctuating temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 73, p. 671-673, 1980.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, Elmsford, v. 20, n. 3, p.395-403, 1996.

CAMARGO, A.P. de. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. 2ªed. Campinas; Instituto Agrônomo, 1964. 20 p. (IAC. Boletim, 116).

_____. Viabilidade e limitações climáticas para a cultura do milho no Brasil. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. **Cultura e adubação do milho**. São Paulo, 1966. p. 225-247.

CANAL D., N.A. **Levantamento, flutuação populacional e análise faunística das espécies de moscas-das-frutas (Dip., Tephritidae) em quatro municípios do Norte de Minas Gerais**. 1997. 113 p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

CANAL D., N.A.; ALVARENGA, C.D.; ZUCCHI, R.A. Análise faunística de espécies de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em Minas Gerais. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 15-24, 1998.

CARVALHO, S.M.; HOHMANN, C.L. Pragas e seu controle. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **O feijão no Paraná**. Londrina, 1989. p. 217-246. (IAPAR, Circular, 63).

CELEDONIO-HURTADO, H.; ALUJA, M.; LIEDO, P. Adult population fluctuation *Anastrepha* species (Diptera: Tephritidae) in tropical orchard habitat in Chiapas, Mexico. **Environmental Entomology**, College Park, v. 24, p. 861-869, 1995.

CELEDONIO-HURTADO, H.; LIEDO, P.; ALUJA, M.; GUILLÉN, J.; BERRIGAN, D.; CAREY, J. Demography of *Anastrepha ludens*, *A. obliqua* and *A. serpentina* (Diptera: Tephritidae) in México. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 71, p. 111-120, 1988.
CHIARADIA, L.A.; MILANEZ, J.M.; DITTRICH, R. Flutuação populacional de moscas-das-frutas em pomares de citros no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 337-343, 2004.

CHRISTENSON, L.D.; FOOTE, R.H. Biology of fruit flies. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 5, p. 171-192, 1960.

CIVIDANES, F.J.; FIGUEREDO, J.G. Previsão de ocorrência de picos de percevejos de soja em condições de campo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 517-225, 1997.

CIVIDANES, F.J.; PARRA, J.R.P. Zoneamento ecológico de *Nezara viridula* (L.), *Piezodorus guildinii* (West.) e *Euschistus heros* (Fabr.) (Heteroptera: Pentatomidae) em quarto estados produtores de soja do Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 219-226, 1994.

CORSATO, C.D.A. **Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomares de goiaba no norte de Minas Gerais: biodiversidade, parasitóides e controle biológico**. 2004. 83 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

DARBY, H.H. **Observation on the thermal death points of *Anastrepha ludens* (Loew)**. Washington: USDA, 1933. 19 p. (Technical Bulletin, 400).

DAVIES, Z.G.; WILSON, R.J.; COLE, S.; THOMAS, C.D. Changing habitat associations of a thermally constrained species, the silver-spotted skipper butterfly in response to climate warming. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 75, p. 247-256, 2006.

DAVIS, P.M.; BRENES, N.; ALLEE, L.L. Temperature dependent models to predict regional differences in corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) phenology. **Environmental Entomology**, College Park, v. 25, n. 4, p. 767-775, 1996.

DEWAR, R.C.; WATT, A.D. Predicted changes in the synchrony of larval emergence and budburst under climatic warming. **Oecologia**, Berlin, v. 89, n. 4, p. 557-559, 1992.

DUYCK, P.F.; QUILICI, S. Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 92, n. 6, p. 461-469, 2002.

FEHN, L.M. Coleta e reconhecimento de moscas das frutas em região metropolitana de Curitiba e Irati, Paraná, Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 10, n. 2, p. 209-228, 1981.

_____. Influência dos fatores meteorológicos na flutuação e dinâmica de população de *Anastrepha* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 4, p. 533-544, 1982.

FLETCHER, B.S. Temperature-development rate relationships of the immature stages and adults of Tephritid fruit flies. In: ROBSON, A. S.; HOOPER, G. (Ed.). **Fruit flies: their biology natural enemies and control**. New York: Elsevier Science Publ., 1989. p. 209-232.

GARCIA, F.R.M.; CAMPOS, J.V.; CORSEUIL, E. Flutuação populacional de *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830) (Diptera, Tephritidae) na Região Oeste de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 415-420, 2003.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GONÇALVES, G.B.; SANTOS, J.C.G.; SILVA, C.E.; SANTOS, E.S.; NASCIMENTO, R.R.; SANT'ANA, A.E.G.; ZUCCHI, R.A. Occurrence of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in the State of Alagoas, Brazil. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 89, n. 1, p. 93-94, Mar. 2006.

HADDAD, M.L.; PARRA, J.R.P. **Métodos para estimar os limites térmicos e faixa ótima de desenvolvimento das diferentes fases de ciclo evolutivo dos insetos**. Piracicaba: FEALQ, 1984. 12 p.

HADDAD, M.L.; PARRA, J.R.P.; MORAES, R.C.B. **Métodos para estimar os limites térmicos inferior e superior de desenvolvimento de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. 29 p.

HAJI, F.N.P.; MIRANDA, I.G. Moscas-das-frutas nos estados brasileiros: Pernambuco. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil**: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: FAPESP; Holos, 2000. cap. 33, p. 229-233.

HAJI, F.N.P.; NASCIMENTO, A.S.; CARVALHO, R.S.; COUTINHO, C.C. Ocorrência e índice de infestação de moscas-das-frutas (Tephritidae) na região do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das almas, v. 13, n. 4, p. 205-209, 1991.

HAMADA, E.; GHINI, R.; GONÇALVES, R.R.V. Efeito da mudança climática sobre problemas fitossanitários de plantas: Metodologia de elaboração de mapas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 3, n. 2, p. 73-85, jul./dez. 2006.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R.; MARENGO, J. A.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. cap. 2. No prelo.

HARRINGTON, R.; FLEMING, R.A.; WOIWOD, I.P. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? **Agricultural and Forest Entomology**, Amsterdam, v. 3, p. 233-240, 2001.

HARRISON, W.W.; KING, E.G.; OUZTS, J.D. Development of *Trichogramma exiguum* and *T. pretiosum* at five temperature regimes. **Environmental Entomology**, College Park, v. 14, p. 118-121, 1985.

HICKEL, E.R.; DUCROQUET, J.P.H.J. Flutuação populacional de espécies de *Anastrepha* (Diptera, Tephritidae) relacionada com a fenologia de frutificação de pêssego e ameixa em Santa Catarina. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 22, n. 2, p. 591-596, 1993.

_____. Ocorrência de moscas-das-frutas *Anastrepha fraterculus* (Wied.) em frutas de goiabeira serrana. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 311-315, 1994.

HICKEL, E.R.; SCHUCK, E. Ocorrência de moscas-das-frutas *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) em frutos de quivi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 11, p. 1345-1347, 1993.

HOLDRIDGE, L.R.; GRENKE, W.C.; HATHEWAY, W.H.; LIANG, T.; TOSI Jr., J.A. **Forest environments in tropical life zones: a pilot study**. Oxford; New York: Pergamon Press, 1971. 747 p.

HUGHES, L. Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent? **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 15, p. 56-61, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2001: the scientific basis** IPCC WG I, TAR., 2001. 881 p. Disponível em: <<http://www.ipccwg2.org/index.html.html>>. Acesso em: 27 ago. 2004.

KOVALESKI, A. **Processos adaptativos na colonização da maçã (*Malus domestica* L.) por *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera, Tephritidae) na região de Vacaria, RS**. 1997. 122 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LAUGHLIN, R. Capacity for increase: a useful population statistic. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 54, p. 77-91, 1965.

LIEDO, P.; CAREY, J.; CELEDONIO, H.; GUILLÉN, J. Size specific demography of three species of *Anastrepha* fruit flies. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Amsterdam, v. 63, p.135-142, 1992.

LIMA, F.A.M. **Aspectos biológicos de espécies de *Anastrepha* e *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae) em três áreas do litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte**. 1997. 129 p. Tese (Doutorado em Biologia / Genética) - Instituto Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MACHADO, A.E.; SALLES, L.A.B.; LOECK, A.E. Exigências térmicas de *Anastrepha fraterculus* (Wied.) e estimativas do número de gerações anuais em Pelotas, RS. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 24, n. 3, p. 573-578, 1995.

MALAVASI, A.; MORGANTE, J.S. Adult and larval population fluctuation of *Anastrepha fraterculus* and its relationship to host availability. **Environmental Entomology**, College Park, v. 10, n. 3, p. 275-278, 1981.

MARTINS, D.S.; ALVES, F.L. Ocorrência de moscas-das-frutas *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera - Tephritidae) na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Norte do Espírito Santo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 227-229, 1988.

MARTINS, D.S.; URAMOTO, K.; MALAVASI, A. Moscas-das-frutas nos Estados brasileiros: Espírito Santo. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil**: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: FAPESP; Holos, 2000. cap. 37, p. 253-258.

MARTINS, J.C. **Aspectos biológicos de *Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Diptera: Tephritidae) em dieta artificial sob diferentes condições de temperatura e fotoperíodo**. 1986. 79 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

McPHAIL, M.; BLISS, C.I. **Observations on the Mexican fruit fly and some related species I Cuernavaca, Mexico in 1928 and 1929**. Washington: USDA, 1933. 24 p. (Circular, 255).

MEATS, A. Bioclimatic potential. In: ROBINSON, A.S.; HOOPER, G. (Ed.). **Fruit flies: their biology, natural enemies and control**. Amsterdam: Elsevier, 1989. v. 3, p. 241-252.

MENÉNDEZ, R. How are insects responding to global warming? **Tijdschrift voor Entomologie**, Gravenhage, v. 150, p. 355-365, 2007.

MENEZES, R.V.S.; NUNES, E.M.; BRANCO, R.S.C.; ZUCCHI, R.A. Moscas-das-frutas nos Estados brasileiros: Piauí. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil**: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: FAPESP; Holos, 2000. cap. 29, p. 213-215.

MOURA, A.P.; MOURA, D.C.M. Espécies de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) associadas à cultura da goiabeira (*Psidium guajava* Linnaeus) em Fortaleza, Ceará. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 65-71, jan./mar. 2006.

ROOT, T.L.; PRICE, J.T.; HALL, K.R.; SCHNEIDER, S.H.; ROSENZWEIG, C.; POUNDS, J.A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature**, London, v. 416, p. 626-629, 2003.

KARL, T.R.; TRENBETH, K.E. Modern global climate change. **Science**, Athens, v. 302, p. 1719-1723, 2003.

MESSINGER, P.S. Bioclimatic studies with insects. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 4, p. 183-206. 1959.

MESSINGER, P.S.; FLITTERS N.E. Bioclimatic studies of three species of fruit flies in Hawaii. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 47, p. 756-765, 1954.

MESSENGER, P.S.; FLITTERS, N.E. Effects of Constant temperature environments on the egg stage of three species of Hawaiian fruit flies. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 51, p. 109-119. 1958.

MILANEZ, J.M.; PARRA, J.R.P. Biologia e exigências térmicas de *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae) em laboratório. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 23-29, 2000.

MILANEZ, J.M.; PANDOLFO, C.; HAMMES, L.A.; PARRA, J.R.P. Zoneamento Ecológico de *Dilobopterus costalimai* Young, *Oncometopia facialis* Signoret e *Acrogonia citrina* Marucci & Cavichioli (Hemiptera: Cicadellidae) Para Santa Catarina. **Neotropical Entomology**, Vacaria, v. 34, n. 2, p. 297-302, 2005.

MILWARD-DE-AZEVEDO, E.M.V.; CUNHA-E-SILVA, S.L.; ARAÚJO, C.R.A.; FARIA, E.H.S. Influência da umidade de um solo aluvial, textura franco-argilosa, no desenvolvimento de pupas e na longevidade de adultos de *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel, 1958) (Diptera, Calliphoridae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 21, n. 2, p. 37-48, 1992.

MILWARD-DE-AZEVEDO, E.M.V.; PARRA, J.R.P. Influência da umidade em dois tipos de solo, na emergência de *Ceratitis capitata*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 321-327, 1989.

MONTEIRO, L.B.; MIO, L.L.M.; MOTTA, A.C.V.; SERRAT, B.M.; CUQUEL, F.L. Avaliação de atrativos alimentares utilizados no monitoramento de mosca-das-frutas em pessegueiro na Lapa - PR. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 72-74, abr. 2007

MONTES, S.M.N.M.; RAGA, A. Eficácia de atrativos para monitoramento de *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) em pomar de citros. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 3, p.317-323, jul./set. 2006.

MORGANTE, J.S. **Moscas-das-frutas (Tephritidae):** características biológicas, detecção e controle. Brasília: SENIR, 1991. 19 p.

NASCIMENTO, A.S. **Aspectos ecológicos e tratamento pós-colheita de moscas-das-frutas (Tephritidae) em manga, Rio Grande do Norte.** 1990. 97 p. Tese (Doutorado em Biologia / Genética) - Instituto Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

NASCIMENTO, A.S.; CARVALHO, R.S. Moscas-das-frutas nos estados brasileiros: Bahia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil:** conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2000. p. 235-239.

NASCIMENTO, A.S.; ZUCCHI, R.A.; MORGANTE, J.S.; MALAVASI, A. Dinâmica populacional das moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha* (Dip., Tephritidae) no Recôncavo Baiano. II. Flutuação populacional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17 n. 7, p. 969-980, 1982.

NOLDUS, L.P.J.J. Semiochemicals, foraging behaviour and quality of entomophagous insects for biological control. **Journal of Applied Entomology**, College Park, v. 108, p. 425-451, 1989.

OBRYCKI, J.J.; TAUBER, M.J. Phenology of three coccinellid species: thermal requirements for development. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 74, p. 31-36, 1981.

OMETTO, A.C.F. Estudos populacionais de *Anastrepha* spp. e *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) no estado do Ceará. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Biologia / Genética) - Instituto Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PAPADOPOULOS, N.T.; KATSOYANNOS, B.I.; CAREY, J.R. Temporal changes in the composition of the overwintering larval population of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Northern Greece. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 91, p. 430-434, 1998.

PAPADOPOULOS, N.T.; KATSOYANNOS, B.I.; CAREY, J.R.; KOULOSSIS, N.A. Seasonal and annual occurrence of the mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in northern Greece. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 94, n. 1, p. 41-50, 2001.

PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 37, p.637-669, 2006.

PARRA, J.R.P. Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) visando seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 29, p. 45-76, 1985.

_____. Consumo e utilização de alimentos por insetos. In: PANIZZI, A.R. & PARRA, J.R.P.P. (ed.) **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. São Paulo: Editora Manole, 1991. p. 9-57.

PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; SILVEIRA NETO, S. Flutuação populacional e atividade diária de vôo da mosca-do-mediterrâneo em cafeeiros "Mundo Novo". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17 n. 7, p. 985-992, 1982.

PEZZOPANE, J.E.M.; PRATISSOLI, D.; ESPOSTI, M.D.D.; BERTAZO, C.L.; COSTALONGA Jr., M. Zoneamento climático do número de gerações de *Trichogramma pretiosum* em traças do tomateiro, no Estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista da Faculdade de Agronomia**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 145-146. 1997.

PORTER, J.H.; PARRY, M.L.; CARTER, T.R. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 57, p. 221-240, 1991.

PUZZI, D.; ORLANDO, A. Estudos sobre a ecologia das “moscas das frutas” (Trypetidae) no estado de São Paulo, visando o controle racional da praga. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 7-20, 1965.

RAGA, A.; SOUZA FILHO, M.F.; SATO, M.E.; CERÁVOLO, L.C. Dinâmica populacional de adultos de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomar de citros de Presidente Prudente, SP. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 63, n. 2, p. 23-28, 1996.

RONCHI-TELES, B. **Ocorrência e flutuação populacional de espécies de moscas-das-frutas e parasitóides com ênfase ao gênero *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) na Amazônia brasileira**. 2000. 156 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Fundação Universidade do Amazonas, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 2000.

RONCHI-TELES, B.; SILVA, N.M. Primeiro registro de ocorrência da moscas-do-mediterrâneo (Wied.) (Diptera: Tephritidae) na Amazônia brasileira. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 25, n. 3, p. 569-570, 1996.

ROSSI, M.M.; MATIOLI, J.C.; BUENO, V.H.P. Principais espécies de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e sua dinâmica populacional em pessegueiros na região de Caldas, sul de Minas Gerais. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 63, n. 3, p. 329-342, 1988.

ROSS, D.W.; PICKERING, J.; BERG, J.D.; BERISFORD, C.W. Mapping Nantucket pine tip moth (Lepidoptera: Tortricidae) phenology in Georgia. **Journal of Entomological Science**, Athens, v. 2, n. 4, p. 405-412, 1989.

SALLES, L.A.B. **Bioecologia e controle da mosca-das-frutas sul-americana**. Pelotas: Embrapa, CPACT, 1995. 58 p.

SALLES, L.A.B. Biologia e ciclo de vida de *Anastrepha fraterculus* (Wied.). In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Ribeirão Preto: FAPESP; Holos, 2000. cap. 8, p. 81-86.

SALLES, L.A.B. Efeito da temperatura constante na oviposição e no ciclo de vida de *Anastrepha fraterculus*. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 57-62, 1993a.

_____. Emergências de *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) durante o outono e inverno em Pelotas - RS. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 63-69, 1993b.

_____. Horário de captura de *Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Diptera: Tephritidae) em pomar de pessegueiro. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 106-108, 1993c.

SALLES, L.A.B.; CARVALHO, F.L.C.; JUNIOR, C.R. Efeito da temperatura e umidade do solo sobre pupas e emergências de *Anastrepha fraterculus* (Wied.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 147-152, 1995.

SALVADORI, J.R.; PARRA, J.R.P. Efeito da temperatura na biologia e exigências térmicas de *Pseudaletia sequax* (Lepidoptera: Noctuidae), em dieta artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1693-1700, 1990.

SANTOS, G.S.; PÁDUA, L.E.M. Flutuação populacional e espécies de moscas-das-frutas em citrus na cidade de Teresina- PI. **Caatinga**, Mossoró, v. 17, n. 2, p. 87-92, jan./jun. 2004.

SANTOS, J.D.; SANTOS, J.H.R.; CARDOSO, E.A.; SOUZA, R.P.; FILGUEIRA, M.A.; CHAVES, J.W.N. Flutuação populacional de moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha* (Diptera-Tephritidae) em goiabeira (*Psidium guajava* L.) no município de Mossoró-RN-Brasil. **Caatinga**, Mossoró, v. 11, n. 1/2, p. 91-93, 1998.

SILVA, J.G.; URAMOTO, K.; MALAVASI, A. First report of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in the Eastern Amazon, Pará, Brazil. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 81, n. 4, p. 574-577, Dec. 1998

SILVA, N.M. da. **Levantamento e análise faunística de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em quatro locais do Estado do Amazonas**. 1993. 152 p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SILVA, R.A.; XAVIER, S.L.O.; SOUZA FILHO, M.F.; SILVA, W.R.; NASCIMENTO, D.B.; DEUS, E.G. Frutíferas hospedeiras e parasitóides (Hym., Braconidae) de *Anastrepha* spp. (Dip., Tephritidae) na Ilha de Santana, Estado do Amapá, Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 2, p.153-156, abr./jun. 2007.

SILVA, W.R.; SILVA, R.A. Levantamento de moscas-das-frutas e de seus parasitóides no município de Ferreira Gomes, Estado do Amapá. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p.265-268, jan./fev. 2007.

SILVEIRA NETO, S.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B. Zoneamento ecológico para as cigarrinhas-das-pastagens (Homoptera, Cercopidae) no Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 15, p. 149-159, 1986. Suplemento.

SIQUEIRA, O.J.F.; FARIAS, J.R.B.; SANS, L.M.A. Potential effects of global climate changes for Brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p.115-129, 1994.

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; SALLES, L.A.B. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2001. p. 33-63.

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M.F.; COSTA, A.C.; WOZNIAK, M.A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 311-320, 2000.

SOTO-MANITUU, J.; JIRÓN, L.F. Studies on the population dynamics of the fruit flies, *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae), associated with mango (*Mangifera indica* L.) in Costa Rica. **Tropical Pest Management**, Amsterdam, v. 35, p. 425-427, 1989.

SOUZA, H.K.O.; SILVA, V.E.; FILGUEIRA, M.A.; CHAVES, J.W.N.; Infestação da aceroleira por *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera, Tephritidae) em Mossoró - RN. **Caatinga**, Mossoró, v. 12, n. 1/2, p. 25-28, dez. 1999.

STERN, V.M.; BOWEN, W. Ecological studies of *Trichogramma semifumatum* with notes on *Apanteles medicaginis*, and their suppression of *Colias eurytheme* in Southern California. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 56, p. 358-372. 1963.

SUTHERST, R.W.; MAYWALD, G.F. A climate model of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae): implications for invasion of new regions, particularly Oceania. **Environmental Entomology**, Amsterdam, v. 34, p. 317-335, 2005.

TAN, K.H.; SERIT, M. Adult population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in relation to host phenology and weather in two villages of Penang Island, Malaysia. **Environmental Entomology**, Amsterdam, v. 23, p. 267-275, 1994.

TAUFER, M.; NASCIMENTO, J.C.; CRUZ, I. B.M.; OLIVEIRA, A.K. Efeito da temperatura na maturação ovariana e longevidade de *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera, Tephritidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 639-648, 2000.

THOMAS, C.D.; CAMERON, A.; GREEN, R.E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L.J.; COLLINGHAM, Y.C.; ERASMUS, B.F.N.; SIQUEIRA, M.F.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; VAN JAARSVELD, A.S.; MIDGLEY, G.F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M.A.; PETERSON, A.T.; PHILLIPS, O.L.; WILLIAMS, S.E. Extinction risk from climate change. **Nature**, London, v. 427, p. 145-148, 2004.

THOMAZINI, M.J.; ALBUQUERQUE, E.S.; SOUZA FILHO, M.F. Primeiro registro de espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) no Estado do Acre. **Neotropical Entomology**, Vacaria, v. 32, n. 4, p. 723-724, 2003.

THORNTON, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

URAMOTO, K. **Diversidade de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae) em pomares comerciais de papaia e em áreas remanescentes da Mata Atlântica e suas plantas hospedeiras nativas, no município de Linhares, Espírito Santo**. 2007. 105 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

URAMOTO, K.; WALDER, J.M.M.; ZUCCHI, R.A. Flutuação populacional de moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha* schiner, 1868 (diptera, tephritidae) no *Campus* "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 70, n. 4, p.459-465, out./dez. 2003

VARGAS, R.I.; WALSH, W.A.; JANG, E.B.; ARMSTRONG, J.W.; KANEHISA, D.T. Survival and development of immature stages of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared of five constant temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 89, p. 65-69, 1996.

VARGAS, R.I.; WALSH, W.A.; KANEHISA, D.T.; JANG, E.B.; ARMSTRONG, J.W. Demography of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared of five constant temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 90, p. 162-168, 1997.

VARGAS, R.I.; WALSH, W.A.; KANEHISA, D.; STARK, J.D.; NISHIDA, T. Comparative demography of three hawaiian fruit flies (diptera: tephritidae) at alternating temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 93, n. 1, p. 75-81, Jan. 2000.

VELOSO, V.R.S. **Dinâmica populacional de *Anastrepha* spp. e *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) (Diptera, Tephritidae) nos cerrados de Goiás**. 1997. 115 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1997.

ZÄHLER, P.M. Moscas-das-frutas em três pomares do Distrito Federal: levantamento de espécies e flutuação populacional. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42 n. 2, p. 177-182, 1990.

_____. Moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae) em dois pomares de manga (*Mangifera indica*) do Distrito Federal: levantamento de espécies e flutuação populacional. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 38, n. 217, p. 206-216, 1991.