

JULIANA CHAGAS FORTES

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL E IMPACTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
SOBRE A PRAGA DE GIRASSOL *Chlosyne lacinia* (LEPIDOPTERA:
NYMPHALIDAE)**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009**

JULIANA CHAGAS FORTE

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL E IMPACTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
SOBRE A PRAGA DE GIRASSOL *chlosyne lacinia*
(LEPIDOPTERA: NYMPHALIDAE)**

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

APROVADA: 29 de julho de 2009.

Dr. Anderson Oliveira Latini

Dra. Daniela Chaves Resende

Dra. Flavia Monteiro Coelho Ferreira

Dr. Paulo de Marco Júnior
(Co-Orientador)

Dr. Evaldo Ferreira Vilela
(Orientador)

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO	1
MÉTODOS.....	7
Coleta de dados	7
Dados ambientais	7
Métodos de modelagem	8
Técnicas de avaliação e predição agregada (ensemble) e limites	9
RESULTADOS	10
DISCUSSÃO	25
Subespécies de <i>Chlosyne lacinia</i>	25
Mudanças climáticas e variação intra-específica	26
<i>Chlosyne lacinia</i> e a cultura de girassol	27
CONCLUSÃO	31
AGRADECIMENTOS	32
LITERATURA CITADA	33

RESUMO

FORTES, Juliana Chagas. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009. **Distribuição potencial e impacto de mudanças climáticas sobre a praga de girassol *Chlosyne lacinia* (Lepidoptera: Nymphalidae).** Orientador: Evaldo Ferreira Vilela. Co-orientadores: Paulo De Marco Júnior e Marcelo Coutinho Picanço.

A existência de alterações climáticas globais como consequência de impactos antropogênicos e a importância de prever seus efeitos biológicos reavivaram o interesse em compreender os fatores que determinam a abundância e a distribuição dos organismos. Existem vários métodos que permitem a criação de modelos de nicho ecológico baseados em clima, que podem ser usados para prever a distribuição potencial de espécies e os potenciais efeitos de mudanças climáticas em sua área de distribuição. A construção destes tipos de modelos pode auxiliar a compreender como o clima pode controlar a distribuição das espécies, como também indicar áreas de risco para a infestação de pragas. Lagartas de *Chlosyne lacinia*, no Brasil, são uma das principais pragas de girassol, *Helianthus annuus*, e o seu ataque aos 50 e 70 dias de idade das plantas reduz a produtividade em até 80%. O objetivo desse trabalho foi determinar as áreas com clima favorável para a ocorrência potencial atual e futura de *C. lacinia* e de suas subespécies no continente americano, e para a plantação de girassol no Brasil. Os modelos foram criados utilizando-se os métodos de distância de Mahalanobis e Maximum Entropy (Maxent), para a distribuição da espécie *C. lacinia*, e das subespécies *C. l. adjatrix*, *C. l. crocale*, *C. l. lacinia* e *C. l. saundersii*. De acordo com os valores de AUC (área sob a curva de sensibilidade *versus* especificidade) os modelos foram bastante satisfatórios, o que também justifica a semelhança na distribuição das espécies entre ambos os modelos. Os resultados mostram que é possível que a distribuição de uma espécie não se altere como função das mudanças climáticas, mas que a variação intra-específica seja largamente afetada. A subespécie *C. l. saundersii* apresenta uma possível diminuição da áreas de distribuição potencial e um isolamento geográfico, enquanto a subespécie *C. l. adjatrix*, futuramente, não apresentará áreas de adequabilidade. No entanto, esses resultados podem ser alterados devido ao fluxo gênico existente na espécie. As áreas de clima adequados para a plantação de girassol no Brasil devem sofrer uma diminuição, embora os esforços na realização de melhoramento genético nessa cultura

possa transpor as limitações climáticas, fazendo com que haja plantações em áreas não previstas pelos modelos e a diminuição do efeito da praga na cultura. Embora esses métodos não sejam muito utilizados para a predição de áreas adequadas para pragas, o uso de modelos de distribuição mostrou-se uma ferramenta interessante para a obtenção de dados sobre a espécie e de variações intra-específicas.

ABSTRACT

FORTES, Juliana Chagas. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009. **Potential distribution and climate change impact over the sunflower pest *Chlosyne lacinia* (Lepidoptera: Nymphalidae)**. Advisor: Evaldo Ferreira Vilela. Co-advisors: Paulo De Marco Junior and Marcelo Coutinho Picanço.

The existence of global climate change caused by anthropogenic impacts and the importance of predicting its biological effects have revived the interest in understanding abundance and distribution determining factors. Several methods that allow the creation of climate based ecological niche models can be used to predict species potential distribution and the effects that climate change can have over distributional areas. Building such models can help the understanding on how climate can determine species distributions, as well as indicating pest infestation risk areas. *Chlosyne lacinia* caterpillars are a major sunflower (*Helianthus annuus*) pest on Brazil, and its attacks at 50 and 70 days old plants can reduce the productivity up to 80%. This work aimed at areas with suitable climate for the current and future potential occurrence of *C. lacinia* and its subspecies at the American continent, and for sunflower culture in Brazil. The models were created using Mahalanobis distance and Maximum Entropy (Maxent) methods, for *C. lacinia* and the subspecies *C. l. adjutrix*, *C. l. crocale*, *C. l. lacinia* and *C. l. saundersii*. According to AUC (area under the sensibility versus specificity curve) values, model performance were great, which explains the similarity of results from both methods. The results showed that it is possible that the whole species distribution may not be altered by climate changes, but the intra-specific variation will be largely affected. *C. l. saundersii* distribution is expected to shrink and be isolated, and *C. l. adjutrix* can loose all suitable areas. However, these results can be affected by the gene flow between subspecies. The areas with suitable climates for sunflower culture in Brazil are expected decrease, although it is possible that genetic improvement efforts can surpass climatic limitations, allowing the occupancy of areas not predicted by the modeling, and avoiding the effect of the pest. Even though distribution modeling methods are seldom used for pest distribution predictions, its usage proved to be an interesting method for obtaining information about the species and the intra-specific variation.

INTRODUÇÃO

Os efeitos das alterações começam a ser sentidos nos padrões de dinâmica populacional de espécies, produtividade agrícola e distribuição e abundância de pragas agrícolas (Cannon 1998). Medir e prever a magnitude e a rapidez dos efeitos destas alterações sobre os ecossistemas naturais é um passo essencial para se explorar qualquer possibilidade de atenuação ou prevenção (Lubchenco et al. 1993; West & Salm 2003). As previsões dos efeitos biológicos das alterações climáticas antropogênicas, bem como as demonstrações atuais desses efeitos, têm reavivado o interesse nos fatores que determinam a abundância e a distribuição de plantas e animais (Kerr et al. 2007; Thomas et al. 2004; Thuiller et al. 2005; Walther et al. 2002; Wilson et al. 2005).

A distribuição de espécies é determinada por uma série de fatores, incluindo o clima, a cobertura vegetal e as interações bióticas (Heikkinen et al. 2007), que atuam em diferentes escalas e podem manter interações complexas. Assim, enquanto algumas variáveis ambientais como umidade podem determinar a ocorrência de uma espécie em uma porção do habitat (p.ex. a ocorrência de um inseto sobre ou sob troncos dentro de uma floresta), os padrões de distribuição em largas escalas (p.ex. regional, continental) podem ser afetados por condições climáticas mais amplas, tal como a temperatura e as chuvas, e por processos de dispersão e restrições impostas pela história evolutiva do grupo (Soberon 2007). Evidentemente, mesmo admitindo que os fatores determinantes da distribuição possam ser distintos em diferentes escalas, é fácil aceitar que todos eles sejam resultado da história evolutiva dessas espécies que moldou suas respostas comportamentais e eco-fisiológicas. Observações e previsões sobre as alterações climáticas (principalmente na temperatura, precipitação e composição atmosférica) revelam, em última análise, os efeitos diretos e indiretos sobre a fisiologia, ecologia e adaptações desses organismos (Hickling et al. 2006; Hughes 2000; McLaughlin et al. 2002; Musolin 2007; Parmesan & Yohe 2003).

A temperatura é reconhecida como o principal fator determinante da atividade metabólica (Gillooly et al. 2001; Gillooly et al. 2002; Gillooly & Dodson 2000) e histórias de vida das espécies (Hodkinson et al. 1999; Willott & Hassall 1998). Assim, muitos estudos têm observado coincidências entre os limites e alcance geográfico de diversos organismos com as condições climáticas de seus locais de ocorrência (Caughley et al. 1987;

Ghalambor et al. 2006; Iversen 1994; Robinson et al. 1997; Root 1988). Insetos, em particular, são bastante susceptíveis às mudanças climáticas, uma vez que a maior parte das espécies são ectotérmicas (Bale et al. 2002).

Dependendo do impacto das mudanças climáticas sobre a fisiologia das espécies ou da população em questão, Fields et al. (1993), subdivide o resultado dessas mudanças em três categorias. Primeiro, se as alterações ambientais são suficientemente pequenas, os organismos podem não ser afetados por essas condições. Um certo número de insetos são capazes de ajustar suas habilidades fisiológicas (incluindo os limites térmicos), após um período de aclimação (Bale et al. 2000; Klok & Chown 2003; Slabber et al. 2007; Terblanche et al. 2005; Worland & Convey 2001), dando-lhes a possibilidade de manifestar uma ampla faixa de tolerância térmica. Por isso, é importante levar em conta qualquer aclimação potencial em estudos relacionados a tolerância térmica (Calosi et al. 2008). Em segundo lugar, se as condições ambientais ultrapassam a tolerância de alguns indivíduos, mas não a totalidade da população, é possível que a seleção natural favoreça alguns genótipos já presentes na população. Neste cenário, as espécies podem ter sua abundância inalterada, mas as frequências alélicas podem variar (Hilbish 1985; Kirby et al. 1997). Por fim, se as alterações ultrapassam os limites de toda a espécie ou população, todos os organismos da população irão morrer ou emigrar e alterar sua distribuição geográfica (Holt 1990). Sob o pressuposto de que o clima e, em particular, a temperatura, define a distribuição geográfica de espécies, está implícita a idéia de que as alterações climáticas podem alterar significativamente os ecossistemas naturais (Helmuth et al. 2005).

Compreender os mecanismos pelos quais os fatores abióticos do ambiente afetam a dinâmica de uma população é necessário para desenvolver modelos de distribuição mais próximos da realidade, em particular aqueles que utilizam informações fisiológicas para definir limites críticos para função e desempenho animal (Helmuth et al. 2005). Para prever a dinâmica populacional de artrópodes pragas, é necessário determinar sua distribuição espacial juntamente com a sua prevalência sazonal (Kasuga & Amano 2005). Existe uma ampla variedade de métodos que podem ser utilizados na tentativa de se relacionar dados de distribuição geográfica (normalmente coordenadas dos locais de ocorrência de uma determinada espécie) com variáveis ambientais (Austin 2000; Guisan & Zimmermann 2000; Segurado & Araujo 2004).

Os métodos desenvolvidos para prever a distribuição potencial de espécies estão baseados em mapear o nicho ecológico dessas espécies (Elith et al. 2006; Soberon 2007) e, com isso, prever as áreas de sua possível ocorrência ou a possibilidade de alteração em sua distribuição perante mudanças climáticas globais (Coulston & Riitters 2005). As diferentes técnicas desenvolvidas representam diferentes formas de prever o espaço ecológico ocupado pelas espécies, sob a restrição do conhecimento de seus pontos de ocorrência. Essas técnicas envolvem uma série de dificuldades, principalmente porque os dados ecológicos das espécies têm uma natureza consistentemente viciada (p. ex. concentrações de áreas de coleta em detrimento de locais pouco estudados) e dados de ocorrência serem desproporcionalmente maiores do que dados de locais onde a espécie não é encontrada. Assim, esses métodos buscam avaliar como são as variáveis ambientais nos pontos conhecidos de sua ocorrência e, assumindo um modelo teórico para o nicho dessas espécies, prever em que locais no espaço geográfico elas poderiam ocorrer.

Os modelos de predição de distribuição de espécies baseados no nicho ecológico, por mais que difiram na estrutura de seus algoritmos, compartilham uma estrutura teórica comum. Em trabalho recente Soberon & Peterson (2005) apresentam uma visão sobre a definição de nicho ecológico necessária como base a essa abordagem. Os autores reforçam a visão de que quando estamos tentando modelar a distribuição de uma espécie a partir de seus pontos de ocorrência, e utilizando o clima como variável descritora, estamos avaliando apenas o sub-espaço de condições do nicho Hutchinsoniano clássico (Hutchinson 1957). As interações com outras espécies são, em geral, colocadas à parte. Por outro lado, esses autores reforçaram a idéia de que a distribuição real das espécies também pode ser afetada pela capacidade de dispersão e distribuição geográfica das áreas com condições ótimas à manutenção da espécie. Assim, é possível que, apesar de existirem áreas ótimas para uma espécie, elas pode não ter sido nunca colonizadas por um efeito histórico (p.ex.. não-equilíbrio histórico De Marco et al. 2008), ou por limitações à dispersão e barreiras geográficas.

Devido ao comércio internacional de insumos agrícolas, a introdução de espécies praga através de barreiras geográficas torna-se ainda mais preocupante. Espécies introduzidas acidentalmente podem encontrar um ambiente ótimo para sua sobrevivência e ampliar sua distribuição, trazendo intensos danos econômicos a plantas e produtos vegetais

(Pimentel et al. 2005). O impacto econômico que uma praga pode trazer leva ao cenário particular da introdução intencionalmente, aspecto conhecido como bio-terrorismo, por disputas pelo mercado de uma determinada cultura ou enfraquecimento econômico de um país (Pereira et al. 1996). A possibilidade de entrada de pragas invasoras trás a necessidade de cooperação internacional para a implementação de rigorosos métodos que controle fitossanitário em defesa da agricultura.

A construção de modelos de distribuição potencial de espécies visando avaliar sua distribuição atual e sua resposta a mudanças climáticas vem sendo feita com muitos tipos diferentes de organismos nos últimos cinco anos. Há um grande esforço em mapear a distribuição de espécies raras ou ameaçadas de extinção com objetivos conservacionistas (Grixti et al. 2009; Lassalle et al. 2008). Além disso, tem-se dado atenção especial a espécies potencialmente invasoras (Bardsley & Edwards-Jones 2007; Peterson & Richard 2003; Peterson & Viegals 2001) ou transmissoras de doenças (Gage et al. 2008) que podem aumentar seu impacto com as mudanças climáticas. Nesse estudo, buscou-se utilizar essa estrutura teórica para tratar de uma espécie praga da agricultura. É importante observar que o conhecimento do habitat de espécies pragas está diretamente ligado ao conhecimento dos possíveis locais de estabelecimento dessa praga e, conseqüentemente, locais onde pode haver danos econômicos, como também de seus pontos de controle, ou seja, locais onde o próprio ambiente realiza o controle dessas espécies (Kasuga & Amano 2005). Portanto, a avaliação explícita do nicho dessas espécies em uma escala ampla pode também auxiliar na compreensão de como o clima pode controlar algumas dessas populações.

O grupo *Chlosyne* é composto por aproximadamente 30 espécies que se distribuem em cinco gêneros (Higgins 1960; Higgins 1981). *Chlosyne lacinia* Geyer (Lepidoptera: Nymphalidae) é uma espécie multivoltínea, com borboletas de coloração preta, tendo as asas anteriores de cor preta e alaranjada, formando desenhos e lagartas cobertas de pêlos, geral pretas, mas também podem apresentar variações polimórficas na coloração (Gallo et al. 2002). Em uma revisão sobre o gênero, Kons Jr. (2000) descreve as diferenças morfológicas entre seis subespécies de *Chlosyne lacinia*: *saundersii*, *lacinia*, *quehtala*, *crocale*, *adjutrix* e *paupera*. O autor considera que os diferentes padrões morfológicos de *C. lacinia* não caracterizariam subespécies, em função da distribuição geográfica contínua do inseto e da existência de padrões intermediários entre elas. Segundo o autor, existe uma

co-existência entre *saunderssi/lacinia*, *saundersii/quehtala*, *lacinia/quehtala*, *quehtala/crocale*, *quehtala/adjutrix* e *adjutrix/crocale*.

Aparentemente, *C. lacinia* é uma espécie aposemática, que anuncia a sua natureza desagradável ou repugnante através de suas cores brilhantes. Espécies aposemáticas seqüestram compostos químicos de seus alimentos e o estocam no corpo (Wahlberg 2001). Entre as possíveis funções dos compostos armazenados, está a de proteção contra predadores (coloração de alerta e/ou sabor desagradável), proteção contra raios ultravioletas, ação antimicrobiana e comunicação intra-específica (Hartmann et al. 1997; Nishida 1995; Nishida 2002).

Lagartas de *Chlosyne lacinia saundersii* Doubleday são pragas de girassol, *Helianthus annuus* L. (Asteraceae), além de se alimentarem de várias outras plantas anuais da família Asteraceae (Justus et al. 2003). As lagartas, a partir do quarto instar, alimentam-se de toda a folha, provocando intensos desfolhamentos que causam prejuízos econômicos na cultura do girassol no Brasil (Boiça Junior et al. 1984; Camargo & Amabili 2001; Nakano et al. 1981). O ataque de *C. lacinia* aos 50 e 70 dias de idade das plantas reduz a produtividade em até 80% (Gallo et al. 2002). No Brasil, é uma das principais pragas da cultura (Leite et al. 2007), e sua ocorrência já foi relatada em todas as cinco regiões do país.

Nos Estados Unidos, a planta hospedeira primária de março a julho é *H. annuus*, ocasionalmente sendo encontrada em outras Asteraceae (Kendall 1959). Em agosto, com a morte do girassol, a fêmea busca novas plantas hospedeiras (Drummond III et al. 1970). Na região sul do Brasil, são relatadas 14 espécies de plantas hospedeiras, sendo 12 espécies pertencentes à família Asteraceae, uma Leguminosae, *Glycine max* e uma Rubiaceae, *Richardia brasiliensis* (Moscardi 1982). Não há necessariamente uma relação direta entre a planta hospedeira da lagarta e a planta de néctar para o adulto. Entretanto, observações de populações de *C. l. adjutrix* sugerem que pode haver influência na interação entre a fonte de energia entre as duas fases do ciclo de vida (Neck 1977).

Uma oportunidade importante que se abre ao estudo de espécies praga como *Chlosyne* é que, sendo seu hospedeiro conhecido, podemos incluir esse tipo de interação na construção do modelo de distribuição. A introdução de interações dentro de modelos de distribuição potencial é algo que vem sendo avaliado em artigos teóricos (Brooker et al.

2007) e tentativas práticas recentes (Heikkinen et al. 2007), mas é algo que ainda precisa ser convenientemente resolvido.

O objetivo desse trabalho é determinar as áreas de clima favorável para a distribuição potencial atual e futura de *C. lacinia* e de suas subespécies no continente americano, além da distribuição potencial atual e futura de áreas de clima favorável para a plantação de girassol no Brasil. À partir desses dados, será feita uma relação entre as áreas de plantação de girassol e a subespécie *C. l. saundersii* no Brasil, buscando as áreas favoráveis para a interseção entre a cultura e a praga, tanto no clima atual como no futuro.

METODOS

Coleta de dados

As informações sobre a distribuição de *Chlosyne lacinia* e suas subespécies foram coletadas em bancos de dados disponíveis na internet - *speciesLink*, (<http://splink.cria.org.br>) e *Global Biodiversity Information Facility*, GBIF, (<http://www.gbif.org>) - e artigos científicos.

Foram considerados dados de distribuição de subespécies aqueles cuja nomenclatura está identificada em artigos e sites científicos. Todas as informações de ocorrência, com ou sem identificação de subespécie, foram utilizadas como locais de ocorrência da espécie em geral. As coordenadas geográficas das cidades brasileiras de ocorrência de *C. lacinia* foram obtidas na ferramenta de geo-referenciamento do *speciesLink*, *geoLOC* (<http://splink.cria.org.br/geoloc>), sempre utilizando os dados originários do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Para dados de cidades de outros países, foi utilizado o banco de dados *Global Gazetteer* (<http://www.fallingrain.com/world/>).

Os dados de plantações de girassol foram obtidos no IBGE, a partir do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, utilizando as tabelas de Área de colheita dos anos de 2003 a 2007, disponíveis no site da instituição (<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shm>). As coordenadas geográficas das cidades produtoras de girassol foram obtidas da mesma forma que as de ocorrência de *C. lacinia*.

Dados ambientais

A distribuição potencial atual de *C. lacinia*, suas subespécies e de girassol, foi estimada a partir de oito variáveis climáticas (precipitação no trimestre mais frio, precipitação do trimestre mais quente, sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação), precipitação anual, temperatura mínima no mês mais frio, temperatura máxima no mês mais quente, sazonalidade da temperatura e temperatura média anual) presentes na WORDCLIM (<http://www.worldclim.org/>). Todas as variáveis acima foram convertidas para resolução de 0,0417 graus. As mesmas variáveis foram utilizadas para determinar o

modelo de distribuição futura de acordo com o modelo de clima *Community Climate System Model* - CCSM 3 (<http://www.cesm.ucar.edu/>) composto por quatro modelos distintos de simulação simultânea da atmosfera terrestre, oceanos, superfície terrestre e geleiras, e um componente central de engate, que permite avaliação do futuro climático esperado. Este é considerado um cenário otimista, que estima um aumento da temperatura de 2,6 ° C nos próximos 100 anos.

Métodos de modelagem

Os modelos de distribuição atual e futura de *C. lacinia*, suas subespécies e do girassol foram realizados utilizando-se os métodos de Maximum Entropy (Maxent) (Phillips et al. 2006) e Distância de Mahalanobis. (Farber & Kadmon 2003). Os métodos de distâncias (ou modelos de similaridade ambiental) são as representações mais simples da lógica de nicho ecológico, por estarem baseados na existência de um ponto de ótimo ecológico para cada espécie definido pelo centróide dos pontos de ocorrência no espaço ecológico. A distância entre esse ótimo estimado e os valores observados para cada célula da grade ambiental para a área geográfica estudada é inversamente relacionada à adequabilidade do ambiente naquele local. A distância de Mahalanobis leva em conta a matriz de covariância entre as variáveis ambientais nos pontos de ocorrência. Isso permite interpretar o modelo como uma expressão das restrições ambientais que a espécie sofre incluindo as correlações entre variáveis, mas exige que o número de pontos seja maior que o número de variáveis ambientais (o que pode ser um problema para espécies raras).

O Maxent é uma técnica de aprendizagem-automática (*machine-learning*) que estima a distribuição de probabilidades mais próxima à distribuição uniforme sob a restrição de que os valores esperados para cada variável ambiental estejam de acordo com os valores empíricos observados nos pontos de ocorrência. Phillips et al. (2006) lista onze vantagens dessa técnica e as mais importantes são: i) ela necessita apenas de dados de presença; ii) a variável gerada é contínua dentro do intervalo 0 a 100 indicando adequabilidade relativa; iii) ela tem uma definição matemática concisa e é facilmente interpretável dentro dos conceitos clássicos de análise de probabilidades.

Técnicas de avaliação, predição agregada (ensemble) e limites

Para avaliar o ajuste dos modelos utilizou-se o valor de AUC (área sob a curva de sensibilidade *versus* especificidade), que pode ser interpretado como a probabilidade de que, quando uma presença ou uma ausência da espécie são retiradas ao acaso da população, uma presença terá um maior valor predito de probabilidade de ocorrência da espécie do que uma ausência (Elith et al. 2006; Phillips et al. 2006). Quando apenas dados de presença da espécie são utilizados na construção do modelo, o AUC é calculado utilizando-se pseudo-ausências e, então, o AUC passa ser a probabilidade de que um ponto de presença escolhido aleatoriamente seja classificado com maior probabilidade de ocorrência da espécie do que uma pseudo-ausência (Phillips et al. 2006).

Após a análise dos modelos, decidiu-se pela utilização da interseção (*ensemble*) dos modelos gerados pelos dois métodos, para uma melhor análise dos resultados e comparação da distribuição atual e futura de *C. lacinia*, suas subespécies e áreas com clima favorável para plantação de girassol. Como legenda, utilizou-se 0 para simbolizar as ausências (áreas onde pelo menos um dos modelos definiu como desfavorável para a ocorrência), e 1 para áreas de clima favorável para a presença do inseto e da cultura (áreas nas quais os dois modelos previram a ocorrência potencial).

Os limites utilizados para a realização dos modelos utilizando a Distância de Mahalanobis significam a maior distância do centróide predita para um dos pontos de ocorrência conhecida da espécie. Para os modelos em Maxent, os limites significam o valor de probabilidade mínima gerada pelo método onde a ocorrência da espécie é conhecida. Assim, os valores dos limites podem ser interpretados como a identificação das células preditas que são pelo menos tão adequadas quanto àquelas onde uma presença da espécie foi registrada.

RESULTADOS

Ao todo foram obtidos 343 registros únicos de *Chlosyne lacinia*, distribuídos assim entre as subespécies: *adjatrix*, 17; *crocale*, 19; *lacinia*, 187; *saundersii*, 22; subespécie não especificada, 98. Foram obtidos 356 registros únicos de áreas de plantação de girassol no Brasil. Cada registro único corresponde a um ponto de ocorrência dentro da área de resolução das variáveis ambientais utilizadas nos modelos (0,0417 graus).

O maior número de pontos da subespécie *C. l. adjatrix* situa-se na região sudoeste dos Estados Unidos (Figura 1A). A subespécie *C. l. crocale* apresenta-se também na região sul dos EUA, mas com maior número de pontos na região sudeste. A subespécie *C. l. lacinia* apresenta maior número de registros no México, havendo um pequeno número de pontos “sobrepostos” entre as subespécies *C. l. lacinia* e *C. l. crocale*. A única subespécie com registro na América do Sul é *C. l. saundersii*, com um maior número de pontos na região centro-oeste e sudeste do Brasil. Na figura 1B são indicados todos os registros da espécie *C. lacinia* no continente americano. É possível observar pontos de ocorrência desde os EUA até o Brasil. Os municípios onde há cultura de girassol no Brasil são indicados na figura 1C e observa-se uma grande concentração de áreas agrícolas na região centro-oeste e sul, além de algumas localidades na região nordeste e sudoeste do país.

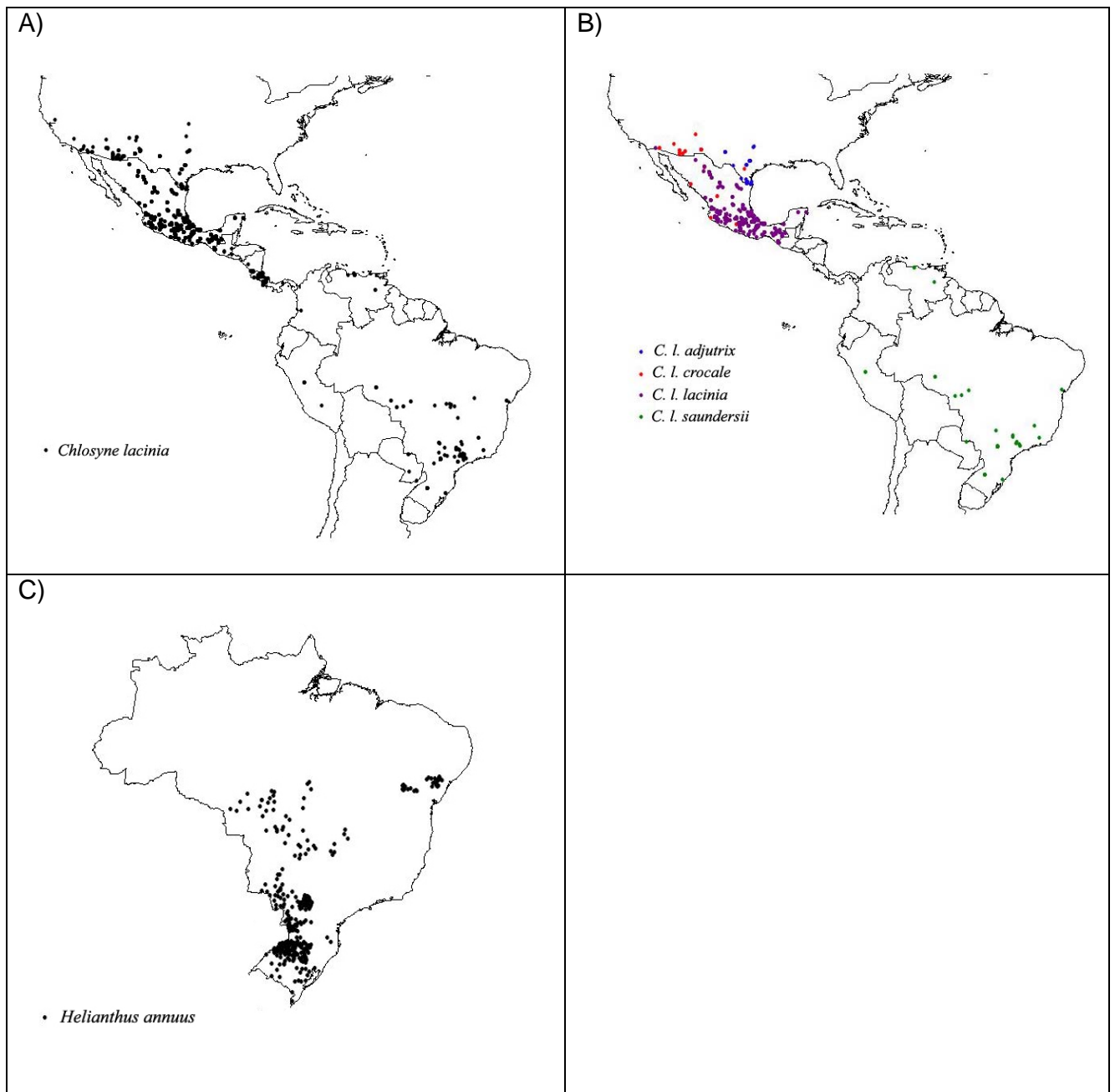


Figura 1 – Registros únicos de distribuição atual de *Chosyne lacinia* e cultivo de girassol; 1a – *C. lacinia*; 1b – Subespécies de *C. lacinia* ; 1c – Áreas de cultivo de girassol.

Para todos os modelos avaliados os valores AUC foram sempre maiores que 0.97 indicando grande eficiência de ambos os métodos utilizados (Tabela 1). Da mesma forma, os valores de AUC foram sempre maiores para a distância de Mahalanobis em relação ao

Maxent. Modelos cujo valor seja 0,5 indicam uma acurácia que não se distingue de um modelo aleatório e um valor de 1 significa um perfeito ajuste do modelo (Fielding & Bell 1997). Segundo Elith et al (2006), bons modelos devem ter AUC superior a 0,7. Portanto, os modelos aqui apresentados foram bastante satisfatórios.

O número de pontos obtidos de cada subespécie pode ser considerado eficiente do ponto de vista dos valores de AUC atingidos. Hernandez et al. (2006) indicaram que modelos razoáveis podem ser feitos para algumas espécies raras que tenham somente cinco pontos, as quais freqüentemente possuem áreas de distribuição pequenas e tolerâncias ambientais limitadas. Evidentemente, o sucesso desses procedimentos pode ser afetado por características intrínsecas das espécies e também pelo tipo de estratégia de modelagem utilizada. Por sua vez Pearson et al. (2007), utilizando o Maxent, constataram que a acurácia dos modelos reduzem dramaticamente a partir de dados de ocorrências menores que cinco pontos. Eles também obtiveram uma grande variabilidade nos resultados ao remover seqüências aleatórias de pontos de ocorrências, demonstrando haver sensibilidade dos resultados dos modelos a localidades individuais quando poucos dados estão disponíveis.

Tabela 1 – Avaliação do ajuste de modelos de distribuição potencial para *Chlosyne lacinia*, suas subespécies e o girassol. (AUC: área sob a curva de sensibilidade versus especificidade)

Espécie	N	Limites		AUC	
		Maxent	Mahalanobis	Maxent	Mahalanobis
<i>Chlosyne lacinia</i>	343	0,454	6,670	0,964	0,999
<i>Chlosyne l. adjutrix</i>	17	23,992	3,850	0,998	1,000
<i>Chlosyne l. crocale</i>	19	16,348	3,974	0,986	1,000
<i>Chlosyne l. lacinia</i>	187	6,426	9,754	0,990	0,999
<i>Chlosyne l.</i>	22	10,758	4,312	0,972	1,000
<i>Saundersii</i>					
<i>Helianthus annuus</i>	356	1,882	6,582	0,993	1,000

Diferentes métodos produzem resultados distintos, mesmo quando os modelos são calibrados com as mesmas variáveis preditoras e resposta (Araujo & New 2006; Elith et al. 2006; Phillips & Dudik 2008). O desempenho da modelagem é dependente da quantidade de pontos de ocorrência (Stockwell & Peterson 2002; Hernandez et al. 2006; Wisz et al. 2008). Um pequeno número de pontos torna a área prevista pelo método de Maxent mais ampla que a prevista pelo método de Mahalanobis. Da mesma forma, um número elevado de pontos faz com que a área predita pelo método de Maxent seja mais restrita que a área prevista pelo método de Mahalanobis (Figuras 2 e 3). Dessa forma, embora ambos os modelos apresentem valor de AUC satisfatório, a área prevista pode variar de acordo com o método utilizado.

A escala de cores presente nos mapas representa quatro categorias de adequabilidade do clima para a possível existência da espécie na região (Figuras 2 e 3). Essa adequabilidade é calculada a partir dos valores dos limites (Tabela 1). Para os modelos gerados em Maxent, as categorias são geradas a partir do valor de probabilidade mínima até 100. Já para os modelos em Mahalanobis, a escala é gerada de 0 até a distância máxima onde se espera a presença da espécie.

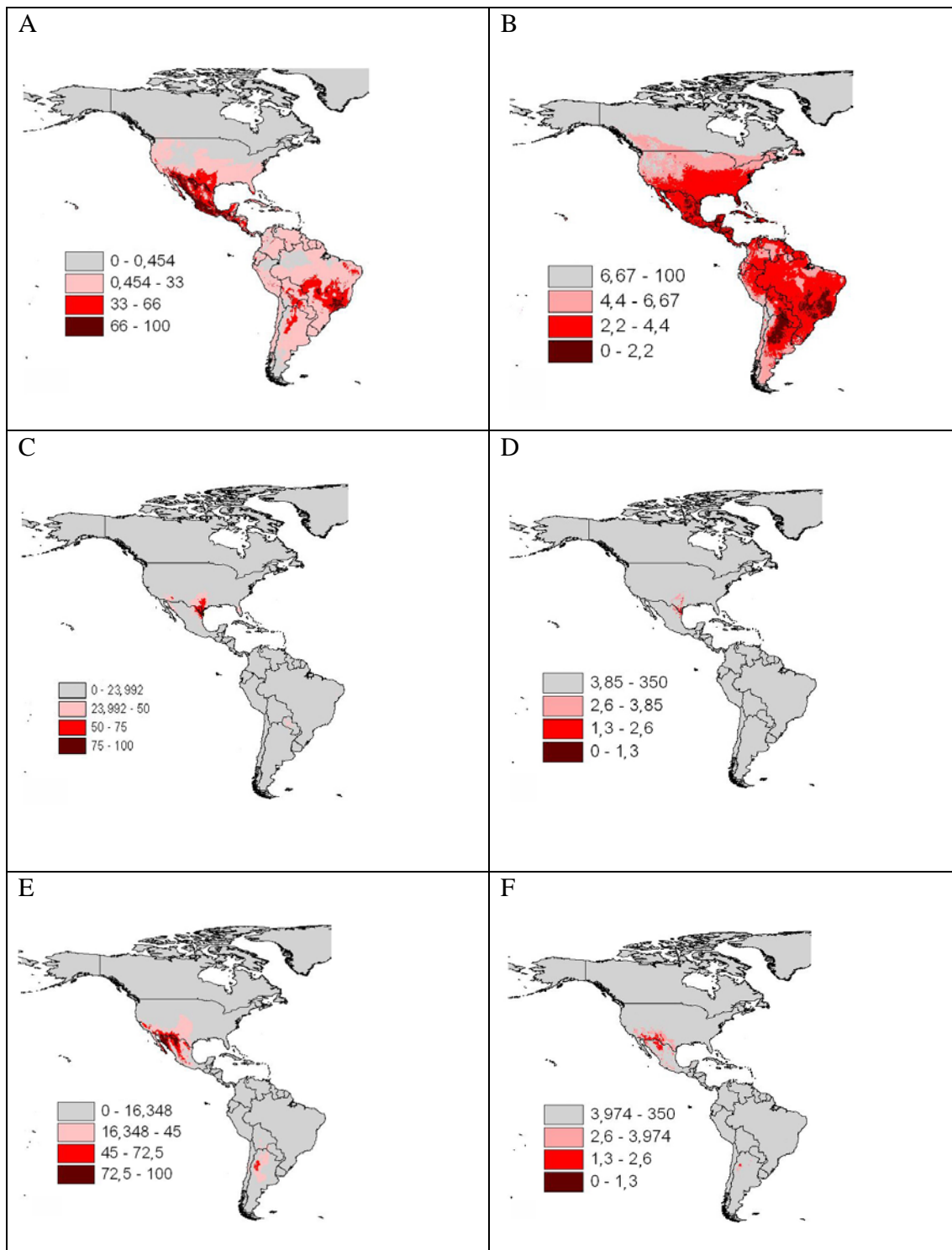


Figura 2 - Modelos de áreas de clima adequado para a presença de *Chlosyne lacinia* e suas subespécies segundo os métodos de Maxent e Mahalanobis. A) *C. lacinia* em Maxent; B) *C. lacinia* em Mahalanobis; C) *C. l. adjutrix* em Maxent; D) *C. l. adjutrix* em Mahalanobis; E) *C. l. crocale* em Maxent; F) *C. l. crocale* em Mahalanobis.

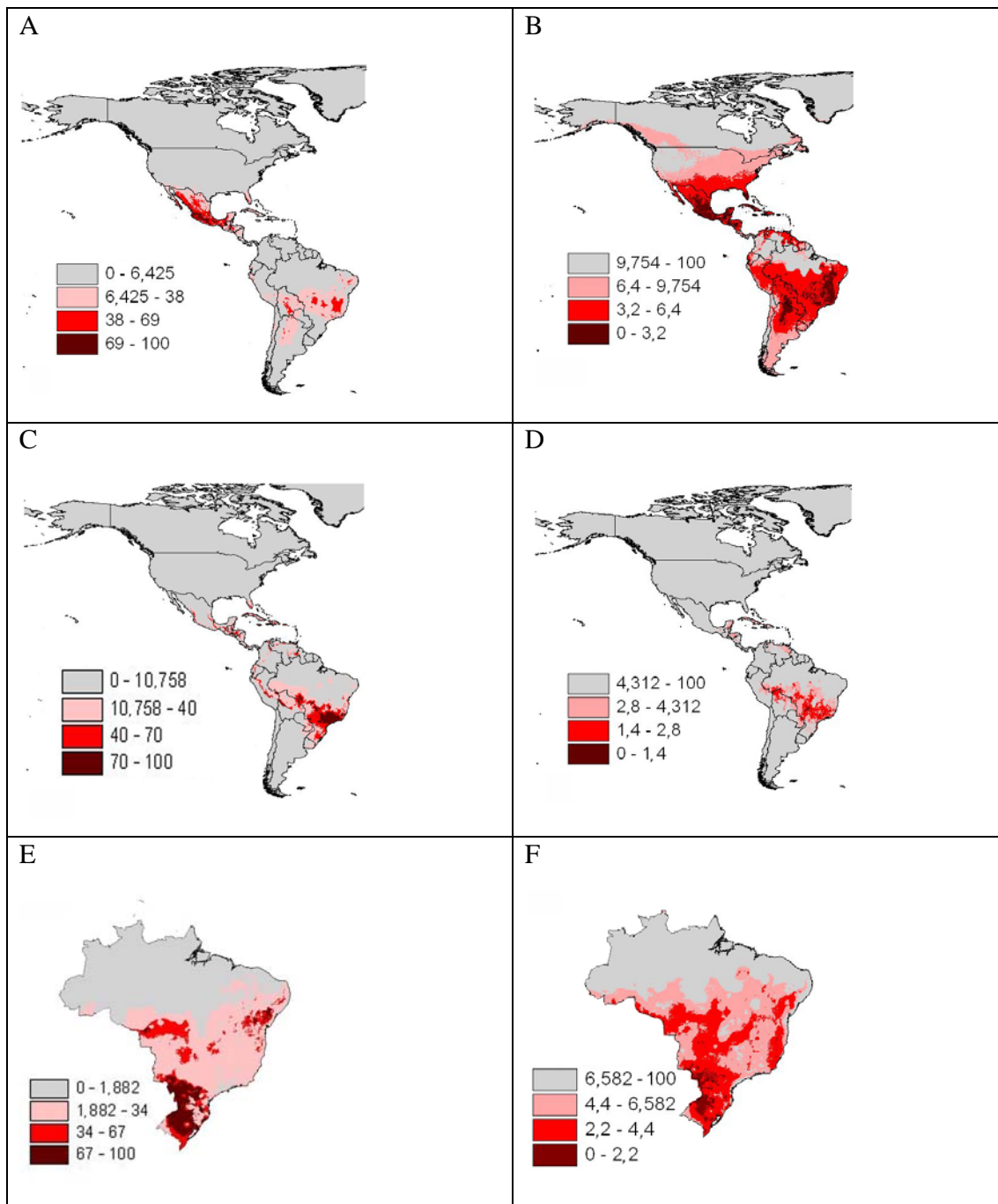


Figura 3 - Modelos de áreas de clima adequado para a presença de subespécies de *Cholsyne lacinia* e de girassol segundo os métodos de Maxent e Mahalanobis. A) *C. l. lacinia* em Maxent; B) *C. l. lacinia* em Mahalanobis; C) *C. l. saundersii* em Maxent; D) *C. l. saundersii* em Mahalanobis; E) Girassol em Maxent; F) Girassol em Mahalanobis.

As extensões das áreas de interseção dos modelos (predição agregada) de ambos os métodos mostram que, apesar de não haver uma grande diferença nas possíveis áreas de clima favorável para a espécie *C. lacinia* para o clima atual e futuro, existem diferenças nas reações das subespécies para as mudanças climáticas (Tabela 2).

Áreas de distribuição potencial atual e futura ($10^3 \times \text{Km}^2$) a partir da sobreposição entre os modelos de Maxent e Mahalanobis. A última coluna mostra a proporção do tamanho da área ocupada do cenário futuro em relação ao atual.

Espécie	Área de distribuição ($10^3 \times \text{Km}^2$)		
	Atual	Futura	Proporção
<i>Chlosyne lacinia</i>	23276,740	25765,356	1,107
<i>Chlosyne l. adjutrix</i>	211,226	0,126	0,001
<i>Chlosyne l. crocale</i>	1102,084	1102,126	1,001
<i>Chlosyne l. lacinia</i>	7201,934	8068,658	1,121
<i>Chlosyne l. saundersii</i>	3593,182	1353,392	0,377
<i>Chlosyne l. saundersii</i> (Brasil)	2558,091	1007,822	0,394
<i>Helianthus annuus</i>	3683,719	2413,711	0,656
<i>Helianthus annuus</i> X			
<i>C. l. saundersii</i> (Brasil)	2004,934	789,589	0,394

A sobreposição de ambos os modelos mostra que a espécie *C. lacinia* (Figura 4) tem sua possível distribuição atual e futura muito semelhantes. Haverá um pequeno aumento no tamanho da área adequada para a espécie no futuro e essas áreas, atuais e futuras, são bastante coincidentes (Tabela 2). A espécie pode ocupar uma área muito extensa do continente, sendo toda a América Central, grande parte da América do Sul e toda a extensão do México, até as áreas centrais dos EUA e uma pequena área na fronteira dos EUA com o Canadá possíveis locais de ocorrência. No futuro, a espécie poderá ocupar uma área maior no centro dos EUA, avançando para o norte do país. Poderá haver um pequeno aumento na área do Canadá ocupado pela espécie, assim como um pequeno avanço da espécie ao sul da Argentina.

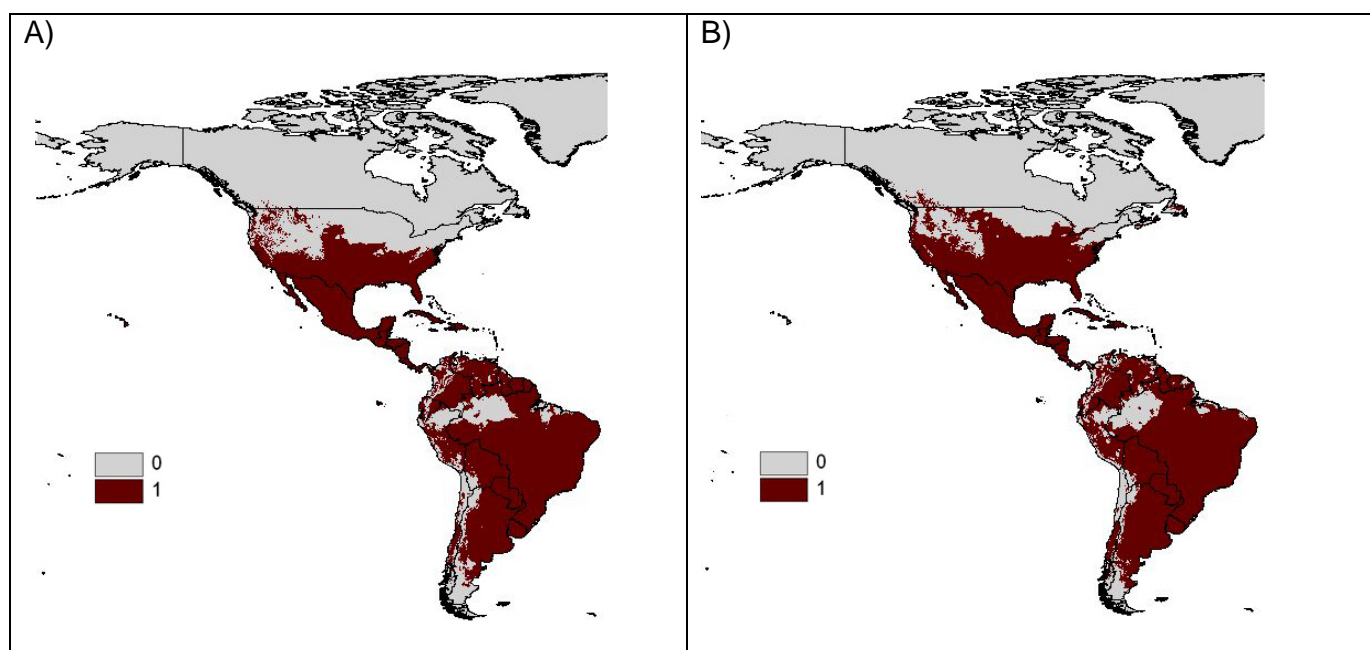


Figura 4 – Áreas de sobreposição dos modelos de Maxent e Mahalanobis para *Chlosyne lacinia*. A) Previsão para o clima atual; B) Previsão para o clima futuro.

A subespécie *C. l. adjutrix* (Figuras 5A e 5B) é a mais afetada pelas mudanças climáticas. Atualmente a região que possui clima favorável para a espécie se encontra na fronteira sudeste dos EUA com o nordeste do México. A existência de uma pequena área de 126Km², no México, ao sul da área atual, pode indicar a não existência da espécie no futuro, pois essa pequena área não coincide com área adequada atualmente para a subespécie (Tabela 2). Já a subespécie *C. l. crocale* (Figuras 5C e 5D), possui o tamanho das áreas de clima favorável atuais e futuras bastante semelhantes, embora mais da metade dessas áreas em localizações diferentes das atuais (Tabela 2). Haverá um aumento na área cujo clima é favorável na Argentina, assim como o surgimento em uma pequena área na Bolívia. Na fronteira dos EUA e México, a subespécie, que ocupa quase toda a extensão contínua da fronteira, irá se fragmentar, com parte dessa área de ocupação deslocando-se um pouco mais para o centro-oeste do país.

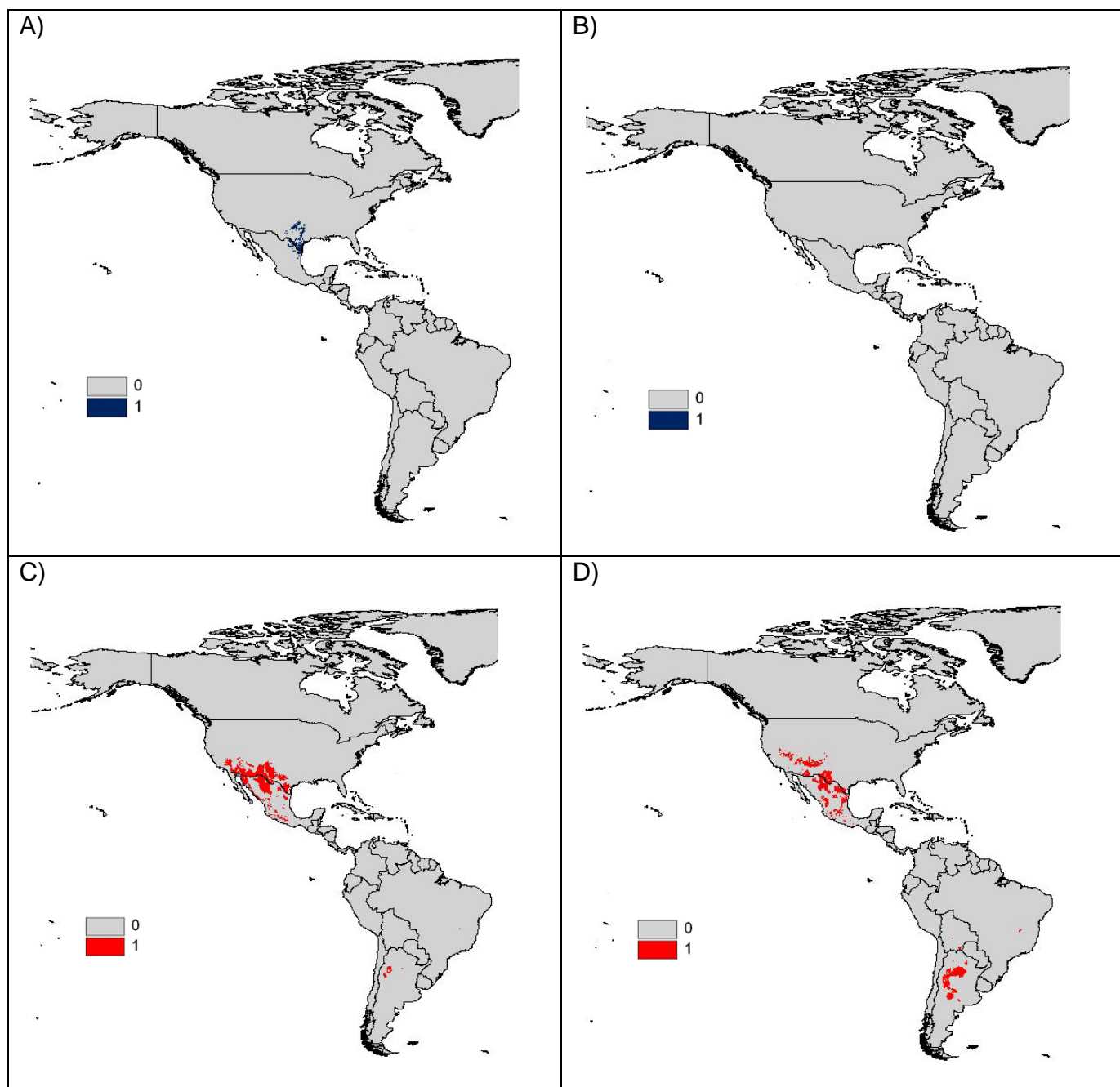


Figura 5 – Áreas de sobreposição dos modelos de Maxent e Mahalanobis. A) Previsão de *C. l. adjatrix* para o clima atual; B) Previsão de *C. l. adjatrix* para o clima futuro; C) Previsão de *C. l. crocale* para o clima atual; D) Previsão de *C. l. crocale* para o clima futuro.

A subespécie *C. l. lacinia* (Figuras 6A e 6B) terá um aumento no tamanho de sua área de clima favorável para a distribuição. Embora exista uma grande coincidência entre as áreas atuais e futuras, alguns locais onde a subespécie pode estar presente atualmente, não serão mais adequadas no clima futuro (Tabela 2). A subespécie pode ocupar praticamente todo o México, com uma pequena área de ocorrência nos EUA e uma grande área na América Central. Embora tenha sua distribuição pouco afetada na América Central e do Norte, apenas com o aparecimento da subespécie em pequenos fragmentos onde antes o clima não era adequado para a sua ocorrência, na América do Sul, haverá uma fragmentação da área no Paraguai e uma perda de área na Bolívia.

A subespécie *C. l. saundersii* (Figuras 6C e 6D) possui sua área de clima adequado para distribuição desde o extremo sul do México, e países da América Central, principalmente, Honduras e Cuba. Na América do Sul, além de pequenos fragmentos na fronteira entre Venezuela e Guiana, a subespécie também tem áreas de clima favorável no Peru, Bolívia, Paraguai e, principalmente, no Brasil. Com as mudanças climáticas a subespécie terá uma diminuição na sua área atual de clima favorável para a distribuição, sendo as áreas adequadas no futuro contidas nas áreas atuais (Tabela 2). Na América Central, a espécie será restrita, principalmente, a Honduras e a uma pequena área na Nicarágua. Na América do Sul, haverá diminuição e fragmentação de áreas do Peru, Bolívia e Paraguai, além do deslocamento de áreas da Venezuela para uma pequena área à oeste da Guiana.

No Brasil, *C. l. saundersii* pode estar presente em uma ampla faixa, que vai do Acre, Rondônia, sul de Goiás, passando pelo Distrito Federal, centro de Minas Gerais até o Espírito Santo. As áreas de clima favorável para a ocorrência da subespécie abrangem todo o estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul, grande parte do Paraná e uma pequena parte de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Pará e Tocantins. Com as mudanças climáticas, a área de clima favorável para a distribuição da subespécie *C. l. saundersii* irá diminuir (Tabela 2), havendo uma maior concentração no estado de São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro, região central e sul do Mato Grosso e região norte do Paraná. A subespécie devará ocorrer em uma área fragmentada do Mato Grosso, bem como na Bahia, Acre, Uma pequena região em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul também poderão apresentar a subespécie.

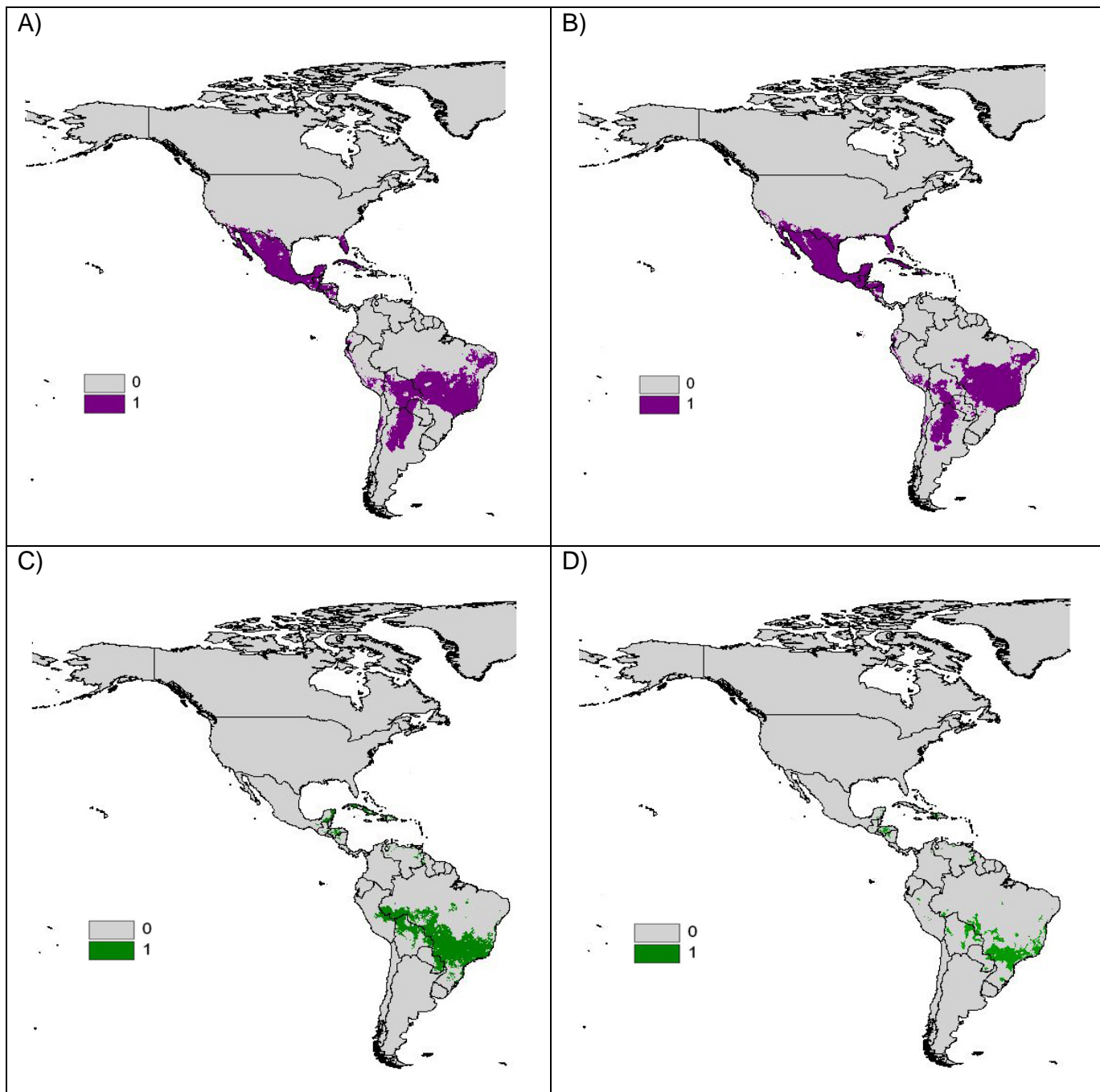


Figura 6 – Áreas de sobreposição dos modelos de Maxent e Mahalanobis. A) Previsão de *C. l. lacinia* para o clima atual; B) Previsão de *C. l. lacinia* para o clima futuro; C) Previsão de *C. l. saundersii* para o clima atual; D) Previsão de *C. l. saundersii* para o clima futuro.

As áreas com clima favorável para a plantação de girassol (Figura 7), no Brasil, abrangem todas as regiões do país. Na região norte, há uma área que se estende desde a fronteira com o Peru, parte do Acre, até o início do Amazonas, uma área ao leste de Rondônia e a região sudeste do Tocantins. Na região nordeste, há uma pequena área no centro do Maranhão e no sul do estado, assim como o sul do Piauí até a área central. Os estados de Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe são cortados por uma área propícia ao plantio. No estado da Bahia, quase todo o território possui clima favorável. Na região centro-oeste, exceto pela região norte do Mato Grosso e Goiás, além de pequenos fragmentos, toda a região é propícia para o plantio. Na região sudeste, apenas uma pequena faixa no litoral de São Paulo não possui clima favorável, assim como fragmentos em Minas Gerais. No região sul do país, praticamente todo o território possui clima propício para o plantio.

Com a mudança climática, as áreas com clima favorável para a plantação de girassol irão diminuir (Tabela 2). No norte do país, restará apenas uma área ao sul do estado de Rondônia e uma faixa que vai do sul ao leste do estado de Tocantins. No nordeste do país, haverá uma faixa propícia que se estende da Bahia até o litoral do Rio Grande do Norte, embora haja perda de uma grande área favorável na Bahia. Na região centro-oeste do país, aumenta a área ao norte do Mato Grosso, como também haverá uma área a oeste do Mato Grosso do sul que deixará de ser propícia para o girassol. Todo o Distrito Federal não apresentará mais clima favorável, bem como apenas a região sul do estado de Goiás possuirá clima para o plantio. No sudeste do país, aumentará a área em São Paulo, como também boa parte do estado do Rio de Janeiro e grande parte do território de Minas Gerais, não possuirão clima para o plantio. Na região sul, o estado do Rio Grande do Sul perderá grande parte do território propício para o plantio.

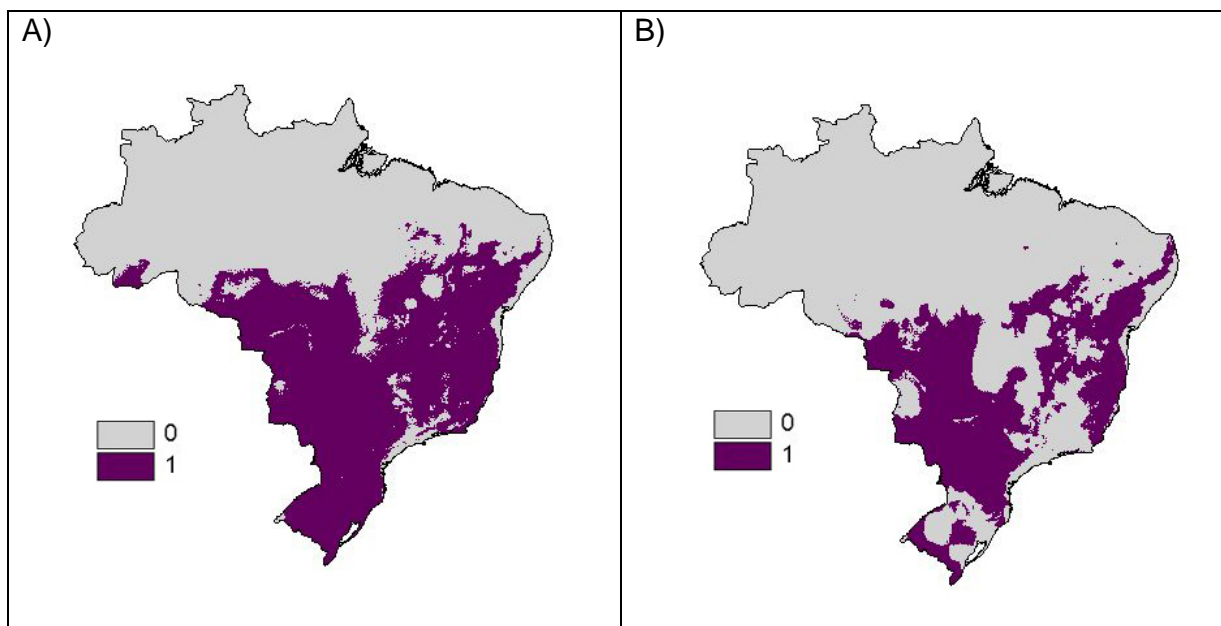


Figura 7 – Áreas de sobreposição de modelos de Maxent e Mahalanobis para plantação de girassol, de acordo com o clima. A) Clima favorável atual; B) Clima favorável futuro.

No Brasil, as áreas que possuem clima tanto para a existência da praga, *C. l. saundersii* como para o plantio de girassol (Figura 8) são: toda a área propícia ao plantio no Acre e fragmentos no estado de Rondônia; uma grande área na região sudoeste do estado do Mato Grosso, assim como todo o estado do Mato Grosso do Sul, exceto em pequenos fragmentos; a região central e sul do estado de Goiás; pequenos fragmentos ao nordeste e ao sul do estado da Bahia; toda a região central do estado de Minas Gerais; todo o estado do Espírito Santo e quase todo o estado de São Paulo, exceto pelo litoral. Na região sul, alguns fragmentos no estado do Rio grande do Sul, o litoral de Santa Catarina e a região norte do estado do Paraná. Em todas essas regiões do Brasil é possível que haja prejuízos nas plantações de girassol em função da presença da praga.

Com a perda de áreas para a plantação de girassol, como também da distribuição de *C. l. saundersii*, também haverá uma diminuição da área de interseção da entre a praga e a cultura de girassol no Brasil (Tabela 2). Essas áreas serão mais concentradas em grande parte do território de São Paulo, Mato Grosso do Sul e do Paraná. A região Sul do Espírito Santo e norte do Rio de Janeiro, áreas fragmentadas de Minas Gerais, Bahia, Goiás e Mato

Grosso, bem como uma pequena área de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul e Rondônia poderão ter seus plantios de girassol associados à presença da praga no futuro.

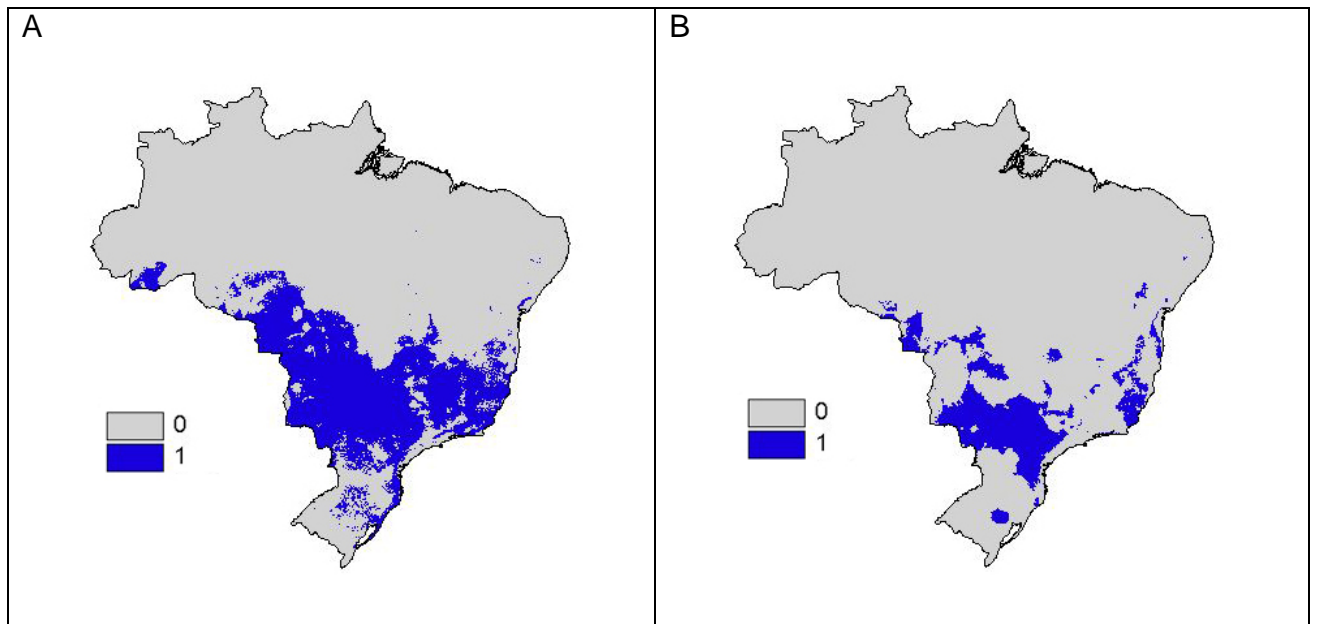


Figura 8 – Áreas de clima favorável para a plantação de girassol e distribuição de *Chlosyne lacinia saundersii*, de acordo com sobreposição dos modelos de Maxent e Mahalanobis. A) Clima atual; B) Clima futuro.

DISCUSSÃO

Subespécies de *Chlosyne lacinia*

Não foram encontrados, para este trabalho, pontos de ocorrência de *C. l. quehuala* e *C. l. paupera*. Por outro lado, a co-existência de *C. l. saundersii* e *C. l. lacinia* foi observada nos mapas na América Central, confirmando a distribuição descrita por Kons Jr. (2000). Um local onde está previsto a co-existência entre as duas subespécies, nos modelos propostos, é em uma grande região na América do Sul, mas não há relatos de ocorrência da subespécie *C. l. lacinia* nessa região, como também não há relatos de co-existência das duas subespécies. Uma das justificativas para este fato pode ser a barreira geográfica causada pela floresta equatorial, que impede a passagem da subespécie *C. l. lacinia* para o continente sul-americano.

A comunicação intra-específica pode funcionar como uma maneira de reconhecimento entre machos e fêmeas (feromônios, coloração etc). Dessa forma, a alimentação tem um papel importante para o reconhecimento do parceiro sexual da espécie. O possível isolamento geográfico entre as espécies presentes na região central e norte do continente americano em relação à subespécie encontrada na América do Sul, assim como também o fato da subespécie *C. l. saundersii* ser a única indicada como praga agrícola, podem indicar diferenças de preferência alimentar entre as subespécies, uma vez que as espécies encontradas nas Américas Central e Norte podem preferir outras plantas hospedeiras enquanto a do Sul pode ter preferir o girassol causando assim, danos econômicos.

Essa diferença de preferência de planta hospedeira pode levar a um isolamento reprodutivo, uma vez que a espécie pode retirar compostos químicos responsáveis pela identificação do parceiro sexual de seu alimento (Malausa et al. 2005). Assim, caso em estudos posteriores seja constatado uma relação entre a preferência alimentar da subespécie *C. l. saundersii* e o seu isolamento geográfico, pode-se esperar que estes fatores contribuam para a formação de uma nova espécie no gênero.

Mudanças climáticas e variação intra-específica

Nossos resultados mostram que é possível que a distribuição de uma espécie não se altere como função das mudanças climáticas, mas que a variação intra-específica seja largamente afetada. Apesar da distribuição geográfica de *C. lacinia* quase não se alterar, a distribuição das subespécies poderá ser muito afetada, sendo predito tanto a expansão de algumas quanto a extinção de outras. Isso sugere que estratégias de análise de distribuição de espécies baseadas em dados de uma espécie, sem reconhecer variações intraespecíficas, podem resultar em erros importantes tanto na análise da distribuição em si, quanto na avaliação de possíveis efeitos, já que diferentes ecótipos de uma espécie podem ter efeitos ambientais distintos.

É razoável supor que esse tipo de resultado ocorra principalmente em espécies que, hoje, mantêm uma distribuição ampla. Nessas espécies, a possibilidade de haverem conjuntos de populações que se diferenciam pelas condições locais é maior. Um exemplo disso é a variação geográfica de características ecológicas das subespécies de abelhas de mel (Schneider et al 2004). Diferenças intra-específicas não foram consideradas no processo de modelagem de espécies de ampla distribuição, como *Bombus terrestris* (Apidae: Bombini) (De Marco & Coelho, artigo submetido) ou *Lithobates catesbeianus* (Aphibia: Ranidae) (Ficetola et al. 2007). Essas espécies tem atraído grande atenção pela sua capacidade de invasão de novas áreas.

O modelo de distribuição potencial futura da subespécie *C. l. adjatrix* indica o possível desaparecimento de áreas favoráveis para sua existência. Embora seja possível que esta subespécie desapareça da região, podemos esperar que as ocorrências de *C. l. crocale* e *C. l. lacinia* mantenha a área ocupada, uma vez que parte dela é indicada como favorável para estas subespécies. Kons Jr. (2000) fala de uma possível área de interação entre *adjatrix/crocale/quethala* e apesar de não termos informações sobre a última, esta idéia é coerente para as duas primeiras quando observamos os modelos de distribuição potencial atuais.

Além das conseqüências sobre a distribuição, as mudanças climáticas no planeta podem ter efeito sobre o tempo de desenvolvimento do inseto. Nas regiões onde não esperamos que a espécie desapareça, o aumento da temperatura média pode significar um

aumento da absorção de calor pelo inseto, acelerando o seu desenvolvimento. A aceleração do tempo de desenvolvimento do inseto, por sua vez, pode levar a um maior número de gerações por ano da espécie (Trnka et al. 2007), podendo levar a um aumento no consumo de recursos e, conseqüentemente, no dano às culturas de girassol. Esses efeitos ainda não podem ser incluídos nas técnicas disponíveis de modelagem de distribuição, mas, é importante considerar que a adição de componentes de dinâmica populacional a esses modelos poderá aumetar seu sucesso em interpretar os efeitos de mudanças climáticas sobre processos produtivos. Se considerarmos que as figuras de adequabilidade apresentadas nesse trabalho representam uma medida de quanto o tamanho populacional local poderá estar limitado pelo clima, é possível vislumbrar a possibilidade de incluir a modelagem da dinâmica dessas populações sobre os resultados dos modelos de distribuição. Essa linha de raciocínio é uma janela interessante de pesquisa futura que até o momento não foi devidamente explorada.

***Chlosyne lacinia* e a cultura de girassol**

Embora existam diferentes subespécies de *C. lacinia*, dados sobre a importância do inseto como praga de girassol não foram encontrados na área dos EUA, embora haja o relato de ocorrência do inseto e de diferentes subespécies, que não *saundersii*, em áreas de plantio (Clark & Faeth 1998; Neck 1977; Stamp 1977). Sites especializados (<http://lubbock.tamu.edu/ipm/AgWeb/> e (<http://pest.ceris.purdue.edu/index.php>) em relatar pragas de culturas no EUA e listas de pragas de girassol (Knodel et al. 2009; Neck 1977; Patrick 1998) também não mencionam o inseto como praga. Assim, uma das hipóteses que pode ser levantada, é que a subespécie *C. l. saundersii* seja mais agressiva que as demais, sendo a única capaz de causar danos a plantações.

Os modelos prevêem a possibilidade de existência de *C. l. lacinia* no território brasileiro, entretanto, não foram encontrados registros da subespécie no país. Uma hipótese é que, por ser uma subespécie menos agressiva, não tenha sido identificada no Brasil porque os registros de *C. lacinia* no país está ligado ao ataque do inseto a agricultura (Camargo & Amabili 2001; Lourenção & Gonçalves 1983; Maranhão 1945; Neck 1977). Assim, uma subespécie menos agressiva pode não ter sido identificada por não ser de

interesse econômico. Entretanto, devido o grande isolamento geográfico entre as áreas de registro (América do Norte e Central) e a área de previsão na América do Sul, é possível que apesar de possuir clima favorável, a subespécie não tenha alcançado as regiões da América do Sul. Qualquer que seja a razão da sua ausência na região, nossos modelos sustentam a importância de uma análise de risco cuidadosa na importação de material ligado à cultura de girassol proveniente dos USA, com objetivo de controlar a possibilidade futura de invasão dessa subespécie ou de material genético ligado à essa subespécie e que poderia, por exemplo, aumentar a capacidade da subespécie presente em responder às mudanças climáticas.

A presença de uma subespécie em uma determinada região não necessariamente quer dizer que esta não possa ser invadida por outra subespécie próxima, ou mesmo que esta invasão não causaria algum impacto ambiental. Como observado no mapa, a subespécie *C. l. lacinia*, apesar de não ser encontrada, possui adequabilidade a uma grande área da América do Sul. A entrada dessa subespécie nessa parte do continente, pode levar a trocas gênicas com a subespécie presente, *C. l. saundersii*, aumentando a área de distribuição futura da praga, podendo causar maiores danos econômicos a cultura de girassol. Um bom exemplo do efeito da invasão de uma subespécie foi a entrada da abelha africana, *Apis mellifera scutellata* (Apidae: Apini) no Brasil em 1956: variedades européias já estavam estabelecidas na região e hibridizaram com os indivíduos introduzidos, levando à expansão da área de ocorrência da espécie no continente americano (Schneider et al 2004) e gerando uma série de impactos ambientais e econômicos (Huryn 1997).

No Brasil, o Decreto N° 5.759, de 17 de abril de 2006, que promulga o texto revisto da Convenção Internacional para a Proteção dos Vegetais (CIVP), aprovado na 29ª Conferência da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO, em 17 de novembro de 1997, apresenta, dentre as responsabilidades de uma organização nacional oficial de proteção fitossanitária: a proteção de áreas em perigo e a identificação, manutenção e vigilância de áreas livres de pragas e as de baixa prevalência de pragas; a realização das análises de risco de pragas e assegurar, mediante procedimentos apropriados, que a segurança fitossanitária das cargas, depois da certificação fitossanitária, com respeito à composição, substituição e reinfestação, seja mantida antes da exportação (Artigo IV).

Nossos modelos apenas consideram o clima para predizer a distribuição do girassol, mas outros fatores, como tipo de solo (Silva 1990), também são importantes para o sucesso da cultura. Embora não seja uma área contemplada pelo modelo, a região de Roraima está iniciando o cultivo de girassol com perspectivas de desenvolvimento da lavoura (Leite et al. 2007). Nesse caso, deve-se levar em consideração que, por se tratar de uma cultura de importância econômica, técnicas de melhoramento são empregadas para garantir melhores rendimentos e maior adaptação da planta a diferentes climas e que já existem muitos genótipos disponíveis no Brasil (Carvalho et al. 2007). Nesse sentido, a modelagem da cultura do girassol aqui apresentada deve ser considerada como uma nova abordagem que ainda merece ser validada com mais dados de campo. É importante também observar que o modelo apresentado é essencialmente climático e a adição de informações sobre solos devem tornar esse tipo do modelo muito mais acurado.

Outra observação quanto as técnicas de melhoramento é que as pragas podem causar diferentes danos dependendo do genótipo da planta, ou seja, não há como inferir o valor econômico do dano causado por uma praga sem que se leve em consideração o cultivar plantado na área. Boiça Júnior e Vendramim (1993) em experimentos realizados em campo utilizando diferentes cultivares, observaram que as cultivares de girassol 'Cargill-33', 'Contissol', 'Issanka-F', 'PIGB', 'Uruguai' e 'Contissol-621', foram menos infestadas pela praga, enquanto 'Contissol-71 1', 'Contissol-112' e 'Rumano-P4', foram mais infestadas. Posteriormente, em laboratório, observaram o desenvolvimento do inseto em diferentes cultivares, concluindo haver efeito dos diferentes genótipos de girassol avaliados para o tempo de desenvolvimento da pragas (Vendramim & Boiça Junior 1994). Todas essas alterações nos genótipos tendem a reduzir o impacto do clima na determinação dos limites de distribuição potencial tanto das plantas hospedeiras quanto dos insetos que as atacam. Nesse sentido, é possível entender que os mapas de distribuição de girassol devem ser considerados como áreas para as quais o investimento em alterações do genótipo da planta são menos necessárias. Quanto mais afastado do ótimo de adequabilidade estimado pelo modelo, provavelmente maiores devem ser os investimentos em melhoramento das plantas para tornar o sistema produtivo.

O modelo de distribuição atual da *C. lacinia saundersii* mostra que a praga é capaz de atingir uma vasta área do território brasileiro, embora haja um gradiente climático no país para o inseto, como mostrado nos mapas dos modelos (Figura 3C). Em algumas áreas, menos favoráveis para a presença do inseto, a ocorrência do mesmo pode não resultar em danos econômicos. Na área do Recôncavo Bahiano, por exemplo, onde ambos os modelos prevêem uma área de clima pouco favorável para a existência de *C. l. saundersii*, Lima Júnior et al. (2006) relatam que, embora presente, a praga não causou danos à plantação. Isso é uma importante forma de validar os modelos de distribuição, já que o encontro sistemático do inseto em áreas pouco favoráveis para a sua existência, sem que ele cause impacto econômico, é uma forte evidência de que o próprio ambiente realiza um controle sobre o nível de dano econômico da praga na agricultura.

É interessante observar que, embora haja uma diminuição tanto para as áreas de ocorrência da *C. l. saundersii* como para as áreas de clima favorável para a plantação de girassol, no Brasil, as áreas de associação entre a praga e o girassol terão uma redução, em maior proporção, que a das áreas de clima favorável para a plantação do girassol. Esse resultado, a princípio, pode ser interessante para os produtores de girassol, pois o impacto das mudanças climáticas para a cultura podem ser ainda menos intensos por haver esforços para a melhoria genética da cultura. Assim, a diminuição das áreas de *C. l. saundersii* poderá significar que uma área mais extensa do país possa ser utilizada para a plantação de girassol sem que haja o ataque da praga *C. l. saundersii*.

CONCLUSÃO

O número de pontos para a construção dos modelos de Maxent e Mahalanobis foram suficiente para os modelos gerados serem considerados satisfatórios. Embora os mapas de distribuição das espécies e subespécies entre os dois modelos tenham sido bastante semelhantes, houve diferenças em relação ao gradiente de adequabilidade apresentado nos mapas. Os resultados mostraram que, embora a espécie *C. lacinia* não sofra alterações em sua distribuição com as mudanças climáticas, suas subespécies podem ser bastante afetadas.

A sobreposição de ambos os modelos mostra que a espécie *C. lacinia* tem sua distribuição atual e futura muito parecidas. Haverá um pequeno aumento no tamanho da área adequada para a espécie no futuro e essas áreas, atuais e futuras, são bastante coincidentes. A subespécie *C. l. adjatrix* é a mais afetada pelas mudanças climáticas podendo não existência da espécie no futuro. Já a subespécie *C. l. crocale*, possui o tamanho das área atuais e futuras bastante semelhantes, embora mais da metade dessas áreas em localizações diferentes das atuais. A subespécie *C. l. lacinia* terá um aumento no tamanho de sua área de distribuição. Embora exista uma grande coincidência entre as áreas atuais e futuras, alguns locais onde está presente atualmente não será mais adequadas no clima futuro.

A subespécie *C. l. saundersii*, com as mudanças climáticas, terá uma diminuição na sua área atual de distribuição no continente americano, sendo as áreas adequadas no futuro contidas nas áreas atuais. No Brasil, essa subespécie também terá uma menor área de distribuição no futuro, bem como as áreas de clima adequado para a plantação de girassol no país. É importante também observar que o modelo apresentado é essencialmente climático e que informações sobre o solo podem tornar o modelo bem mais preciso.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado para a primeira autora e as Universidade Federal de Viçosa e Universidade Federal de Goiás, pela disponibilização do espaço para a realização do trabalho. Também agradecemos ao apoio de diferentes empresas de sementes de girassol, no Brasil, e do pesquisador Timothy Bonebrake, do Departamento de Ciências Biológicas, da Universidade de Stanford, pelos dados concedidos.

LITERATURA CITADA

- Araujo, M. B. and New, M. 2006 Ensemble forecasting of species distributions. *Tree* 22, 42-47.
- Austin, M. P. 2000 Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling* 157, 101-118.
- Bale, J. S., Block, W., and Worland, M. R. 2000 Thermal tolerance and acclimation response of larvae of the sub-Antarctic beetle *Hydromedion sparsutum* (Coleoptera: Perimylopidae). *Polar Biology* 23, 77-84.
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, C. J., Farrar, J., Good, J. E. G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M. C., Symrnioudis, I., Watt, A. D., and Whittaker, J. B. 2002 Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8, 1-16.
- Bardsley, D. K. and Edwards-Jones, G. 2007 Invasive species policy and climate change: social perceptions of environmental change in the Mediterranean. *Environmental Science & Policy* 10, 230-247.
- Boiça Junior, A. L., Bolonhezi, A. C., and Paccini Neto, J. 1984 Levantamento de insetos-praga e seus inimigos naturais em girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivada em primeira e segunda época, no município de Selvíria-MS. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 2, 189-196.
- Boiça Junior, A. L. and Vendramim, J. D. 1993 Infestação de girassol pela lagarta *Chlosyne lacinia saundersii* em duas épocas de cultivo. *Scientia Agricola* 50, 244-253.
- Brooker, R. W., Travis, J. M. J., Clark, E. J., and Dytham, C. 2007 Modelling species' range shifts in a changing climate: The impacts of biotic interactions, dispersal distance and the rate of climate change. *Journal of Theoretical Biology* 245, 59-65.
- Calosi, P., Bilton, D. T., Spicer, J. I., and Atfield, A. 2008 Thermal tolerance and geographical range size in the *Agabus brunneus* group of European diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae). *Journal of Biogeography* 35, 295-305.
- Camargo, A. J. A. and Amabili, R. F. 2001 Identificação das principais pragas do girassol da região centro-oeste. In . Brasília: Embrapa.
- Cannon, R. J. C. 1998 The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. *Global Change Biology* 4, 785-796.
- Carvalho, C. G. P., Oliveira, A. C. B., Marques, C. R. G., Salasar, F. P. L. T., Pantolfi, T. J. F., Campos, R., and Fagundes, R. A. 2007 Informes da avaliação de genótipos de girassol 2005/2006 e 2006. In . Londrina: Embrapa.
- Caughley, G., Short, J., Grigg, G. C., and Nix, H. 1987 Kangaroos and climate: an analysis of distribution. *Journal of Animal Ecology* 56, 751-761.
- Clark, B. R. and Faeth, S. H. 1998 The evolution of egg clustering in butterflies: A test of the egg desiccation hypothesis. *Evolutionary Ecology* 12, 543-552.
- Convenção Internacional para a Proteção dos Vegetais. Decreto Oficial da União, Nº 5.759. *Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]*, Brasília, 18 abr. 2006. Seção 1, pg 3.

- Coulston, J. W. and Riitters, K. H. 2005 Preserving biodiversity under current and future climates: a case study. *Global Ecology and Biogeography* 14, 31-38.
- De Marco Junior, P. ; Coelho, F.M. A. 2009 Time Bombus about to Blow: World-wide *Bombus terrestris* Invasion. *Diversity and Distributions*.
- De Marco Junior, P., Diniz-Filho, J. A. F., Bini, L. M. 2008 Spatial analysis improves species distribution modelling during range expansion. *Biology Letters* 4, 577-580.
- Drummond III, B. A., Bush, G. L., and Emmel, T. C. 1970 The biology and laboratory culture of *Chlosyne lacinia* Geyer (Nymphalidae). *Journal of The Lepidopterists' Society* 24, 135-142.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. M., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S., and Zimmermann, N. E. 2006 Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129-151.
- Farber, O. And Kadmon, R. 2003 Assessment of alternative approaches for bioclimatic modeling with special emphasis on the Mahalanobis distance. *Ecological Modelling* 160, 115-130.
- Ficetola, G. F., Thuiller, W. and Miao, C. 2007 Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species - the American bullfrog. *Diversity and Distributions* 13, 476-485.
- Fielding, A. H. and Bell, J. F. 1997 A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24, 38-49.
- Fields, P. A., Graham, J. B., Rosenblatt, R. H., and Somero, G. N. 1993 Effects of expected global climate change on marine faunas. *Trends in Ecology & Evolution* 8, 361-367.
- Gage, K. L., Burkot, T. R., Eisen, R. J., and Hayes, E. B. 2008 Climate and Vectorborne Diseases. *American Journal of Preventive Medicine* 35, 436-450.
- Gallo, D., Nokama, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R. P. L., Baptista, G. C., Berti Filho, E., Parra, J. R. P., Zucchi, R. A., Alves, S. B., Vendramim, J. D., Marchini, L. C., Lopes, J. R. S., and Omoto, C. 2002 *Entomologia Agrícola*, 10th edn. Piracicaba: FEALQ.
- Ghalambor, C. K., Huey, R. B., Martin, P. R., Tewksbury, J. J., and Wang, G. 2006 Are mountain passes higher in the tropics? Janzen's hypothesis revisited. *Integrative and Comparative Biology* 46, 5-17.
- Gillooly, J. F., Brown, J. H., West, G. B., Savage, M. V., and Charnov, E. L. 2001 Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293, 2248-2251.
- Gillooly, J. F., Charnov, E. L., West, G. B., Savage, M. V., and Brown, J. H. 2002 Effects of size and temperature on developmental time. *Nature* 417, 70-73.
- Gillooly, J. F. and Dodson, S. I. 2000 The relationship of egg size and incubation temperature to embryonic development time in univoltine and multivoltine aquatic insects. *Freshwater Biology* 44, 595-604.
- Grixti, J. C., Wong, L. T., Cameron, S. A., and Favret, C. 2009 Decline of bumble bees (*Bombus*) in the North American Midwest. *Biological Conservation* 142, 75-84.

- Guisan, A. and Zimmermann, N. E. 2000 Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135, 147-186.
- Hartmann, T., Witte, L., Ehmke, A., Theuring, C., Rowell-Rahier, M., and Pasteels, J. M. 1997 Selective sequestration and metabolism of plant derived pyrrolizidine alkaloids by chrysomelid leaf beetles. *Phytochemistry* 45, 489-497.
- Heikkinen, R. K., Luoto, M., Virkkala, R., Pearson, R. G., and Körber, J. H. 2007 Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography* 16, 754-763.
- Helmuth, B., Kingsolver, J. G., and Carrington, E. 2005 Biophysics, physiological ecology, and climate change: Does mechanism matter? *Annual Review of Physiology* 67, 177-201.
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., and Albert, D. L. 2006 The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29, 773-785.
- Hickling, R., Roy, D. B., Hill, J. K., Fox, R., and Thomas, C. D. 2006 The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12, 450-455.
- Higgins, L. G. 1960 A revision of the metlitaeine genus *Chlosyne* and allied species (Lepidoptera: Nymphalidae). *Transactions of the Royal Entomological Society of London* 112, 381-465.
- Higgins, L. G. 1981 A revision of *Phyciodes* Hübner and related genera, with a review of the classification of the Melitaeinae (Lepidoptera: Nymphalidae). *Bulletin of the Natural History Museum* 43, 77-243.
- Hilbish, T. J. 1985 Demographic and temporal structure of an allele frequency cline in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology* 86, 163-171.
- Hodkinson, I. D., Bird, J., Miles, J. E., Bale, J. S., and Lennon, J. J. 1999 Climatic signals in the life histories of insects: the distribution and abundance of heather psyllids (*Strophingia* spp.) in the UK. *Functional Ecology* 13, 83-95.
- Holt, R. D. 1990 The microevolutionary consequences of climate change. *Trends in Ecology & Evolution* 5, 315.
- Hughes, L. 2000 Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15, 56-61.
- Hurn V.M.B. 1997 Ecological impacts of introduced honey bees, *Quarterly Review of Biology* 72, 275-297.
- Hutchinson, G. E. 1957 Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium of Quantitative Biology* 22, 415-427.
- Iversen, J. 1994 *Viscus*, *Hedera* and *Ilex* as climate indicators. *Geologiska Foreningens* 66, 463-483.
- Justus, C. M., Pasini, A., and Oliveira, E. D. M. 2003 Biologia e preferência da lagarta de girassol, *Chlosyne lacinia saundersii* (Lepidoptera: Nymphalidae) na planta daninha losna branca, *Parthenium hysterophorus* (Asteraceae). *Neotropical Entomology* 32, 163-166.
- Kasuga, S. and Amano, H. 2005 Spatial distribution of *Tyrophagus similis* (Acari: Acaridae) in agricultural soils under greenhouse conditions. *Applied Entomology and Zoology* 40, 507-511.
- Kendall, R. O. 1959 More larval foodplants from Texas. *Journal of The Lepidopterists' Society* 13, 221-228.

- Kerr, J. T., Kharouba, H. M., and Currie, D. J. 2007 The macroecological contribution to global change solutions. *Science* 316, 1581-1584.
- Kirby, R. R., Berry, R. J., and Powers, D. A. 1997 Variation in mitochondrial DNA in a cline of allele frequencies and shell phenotype in the dog-whelk *Nucella lapillus* (L.). *Biological Journal of the Linnean Society* 62, 299-312.
- Klok, C. J. and Chown, S. L. 2003 Resistance to temperature extremes in sub-Atlantic weevils: interspecific variation, population differentiation and acclimation. *Biological Journal of the Linnean Society* 78, 401-414.
- Knodel, J. J., Charlet, L. D., Beauzay, P. B., and Gross, T. 2009 Review of sunflower insect pest problems in North Dakota in 2008. In *31st annual NSA Research Forum* (ed. N. D. Fargo): National Sunflower Association.
- Kons Jr, H. L. 2000 Phylogenetic studies of the Melitaeini (Lepidoptera: Nymphalidae: Nymphalinae) and a revision of the genus *Chlosyne* buther. In , pp. 1-798: University of Florida.
- Lassalle, G., Béguer, M., Beaulaton, L., and Rochard, E. 2008 Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues: An approach using biogeographical models. *Biological Conservation* 141, 1105-1118.
- Leite, R. M. V. B. C., Castro, C., Brighenti, A. M., Oliveira, F. A., Carvalho, C. G. P., and Oliveira, A. C. B. 2007 Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. In . Londrina: Embrapa.
- Lima Junior, C. A., Carvalho, C. A. L., Machado, C. S., Santos Junior, J. N., and Marques, O. M. 2006 Insetos herbívoros associados ao girassol no Recôncavo Baiano. *Bahia Agricola* 7, 72-74.
- Lourenção, A. L. and Gonçalves, M. R. 1983 Preferência de alimentação de lagartas de *Chlosyne lacinia saundersii* Doubleday & Hewitson, 1849 em cultivares de girassol. *Bragantia* 42, 281-286.
- Lubchenco, J., Navarrete, S. A., Tissot, B. N., and Castilla, J. C. 1993 Possible ecological consequences to global climate change: nearshore benthic biota of Northeastern Pacific coastal ecosystems. In *Earth System Responses to Global Change: Contrasts Between North and South America* (eds. H. A. Mooney, E. R. Fuentes, and B. I. Kronberg), pp. 147-166. San Diego: Academic.
- Malausa, T., Bethenod, M. T., Bontemps, A., Bourguet, D., Cornuet, J. M., and Ponsard, S. 2005 Assortative Mating in Sympatric Host Races of the European Corn Borer. *Science* 308, 258-260.
- Maranhão, Z. C. 1945 *Chlosyne saundersii* praga do girassol. *Revista de Agricultura* 20, 148.
- McLaughlin, J. F., Hellmann, J. J., Boggs, C. L., and Ehrlich, P. R. 2002 Climate change hastens population extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99, 6070-6074.
- Moscardi, F. 1982 Levantamento de insetos-praga do girassol e seus inimigos naturais. In *Resultados de pesquisa de girassol*, pp. 7-33. Londrina: Embrapa.
- Musolin, D. M. 2007 Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. *Global Change Biology* 13, 1565-1585.
- Nakano, O., Silveira Neto, S., and Zucchi, R. A. 1981 *Entomologia Econômica*. São Paulo: Agronômica Ceres.

- Neck, R. W. 1977 Foodplant ecology of the butterfly *Chlosyne lacinia* (Geyer) (Nymphalidae). III. Adult resources. *Journal of Research on the Lepidoptera* 16, 147-154.
- Nishida, R. 1995 Sequestration of plant secondary compounds by butterflies and moths. *Chemoecology* 5/6, 127-138.
- Nishida, R. 2002 Sequestration of defensive substances from plants by lepidoptera. *Annual Review of Entomology* 47, 57-92.
- Parmesan, C. and Yohe, G. 2003 A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37-42.
- Patrick, C. D. 1998 Managing insect pests of Texas: Sunflower. In : The Texas A&M University System.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. and Peterson, A. T. 2007 Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34, 102-117.
- Pereira, J. L., de Almeida, L. C. C., and Santos, S. M. 1996 Witches' broom disease of cocoa in Bahia: attempts at eradication and containment. *Crop Protection* 15,743-752.
- Peterson, A. T. and Richard, R. 2003 Using ecological-niche modeling to predict barred owl invasions with implications for spotted Owl conservation. *Conservation Biology* 17, 1161-1165.
- Peterson, A. T. and Vieglais, D. A. 2001 Predicting species invasions using ecological niche modeling: New approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *BioScience* 51.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. 2006 Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231-259.
- Phillips, S. J. and Dudik, M. 2008 Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31, 161-175.
- Pimentel, D., Zuniga, R., and Morrison, D. 2005 Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological* 52, 273-288.
- Robinson, T., Rogers, D., and Williams, B. 1997 Univariate analysis of tsetse habitat in the common fly belt of Southern Africa using climate and remotely sensed vegetation data. *Medical and Veterinary Entomology* 11, 223-234.
- Root, T. L. 1988 Environmental factors associated with avian distributional boundaries. *Journal of Biogeography* 15, 489-505.
- Schneider S.S., Hoffman G.D., and Smith D.R. 2004 The African honey bee: Factors contributing to a successful biological invasion. *Annual Review of Entomology* 49, 51-376.
- Segurado, P. and Araujo, M. B. 2004 An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography* 31, 1555-1568.
- Silva, M. N. 1990 Clima, água e solo. In *A cultura do girassol*. Jaboticabal: FUNEP.
- Slabber, S., Worland, R. M., Leinaas, P. H., and Chown, S. L. 2007 Acclimation effects on thermal tolerances of springtails from sub-Antarctic Marion Island: Indigenous and invasive species. *Journal of Insect Physiology* 53, 113-125.

- Soberon, J., and Peterson, A. T.. 2005 Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2, 1-10.
- Soberon, J. 2007 Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters* 10, 1115-1123.
- Stamp, N. 1977 Aggregation behavior of *Chlosyne lacinia* larvae (Nymphalidae) . *Journal of The Lepidopterists' Society* 31, 35-40.
- Stockwell, D. R. B., and Peterson, A. T. 2002 Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* 148, 1-13.
- Terblanche, J. S., Sinclair, B. J., Klok, C. J., McFarlane, M. L., and Chown, S. L. 2005 The effects of acclimation on thermal tolerance, desiccation resistance and metabolic rate in *Chirodica chalconota* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Insect Physiology* 51, 1013-1023.
- 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., Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L., and Williams, S. E. 2004 Extinction risk from climate change. *Nature* 427, 145-148.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M. B., Sykes, M. T., and Prentice, I. C. 2005 Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102, 8245-8250.
- Trnka, M., Muska, F., Semerádová, D., Dubrovský, M., Kocmánková, E., and Zalud, Z. 2007 European Corn Borer life stage model: Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. *Ecological Modelling* 207, 61-84.
- Vendramim, J. D. and Boiça Junior, A. L. 1994 Efeito de cultivares de girassol sobre o desenvolvimento e a preferência para a alimentação de *Chlosyne lacinia saundersii* Doubl. & Hew. (Lepidoptera: Nymphalidae). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 23, 81-86.
- Wahlberg, N. 2001 The phylogenetics and biochemistry of host-plant specialization in Melitaeine butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae). *Evolution* 55.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., and Bairlein, F. 2002 Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389-395.
- West, J. M. and Salm, R. V. 2003 Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology* 17, 956-967.
- Willott, S. J. and Hassall, M. 1998 Life-history responses of British grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) to temperature change. *Functional Ecology* 12, 232-241.
- Wilson, R. J., Gutiérrez, D., Gutiérrez, J., Martínez, D., Agudo, R., and Monserrat, V. J. 2005 Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters* 8, 1138-1146.
- Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., and Guisan, A. 2008 Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14, 763-773.
- Worland, M. R. and Convey, P. 2001 Rapid cold hardening in Antarctic microarthropods. *Functional Ecology* 15, 515-524.