

## A entomologia nos cenários das mudanças climáticas

Alexander Machado Auad e Marcy das Graças Fonseca

---

### Introdução

Os insetos sobrevivem em todos os tipos de ecossistemas naturais e modificados, terrestres e aquáticos por apresentarem uma variedade de formas de vida e funções, o que os torna bem-sucedidos (GULLAN; CRANSTON, 2012) e capacitados a interferirem nos diferentes setores (agrícola, pecuário e médico-veterinário). Esses habitam a Terra por aproximadamente 350 milhões de anos e, durante esse tempo, sofreram várias adaptações para viverem em todos os tipos de habitats, justificando representarem em torno da metade da diversidade global de espécies, correspondendo a um pouco mais de um milhão daquelas descritas. Cerca de 10% dos insetos descritos são considerados pragas e podem ocasionar redução da produtividade de qualquer espécie de planta cultivada pelo homem (CRAMER, 1967; METCALF, 1996; PIMENTEL, 1976). Os danos podem ser quantitativos ou qualitativos, podendo colocar em risco a sustentabilidade do agroecossistema. No Brasil, a estimativa de perdas provocadas pelo ataque de insetos para as principais culturas oscila entre 2% e 30% (BENTO, 1999) e geram um prejuízo anual de cerca de 17,7 bilhões de dólares à economia, levando em consideração o volume de produção de alimento, fibras e biocombustível que o País deixa de produzir, os gastos com a compra de inseticidas e com o tratamento de pessoas intoxicadas com inseticidas na agricultura (OLIVEIRA et al., 2014).

A distribuição e a frequência das pragas dependem de um complexo de fatores ecológicos e agroclimáticos e também de mudanças nos padrões de cultivo observados ao longo dos anos, em função das exigências das culturas. Esse fato foi evidenciado por Assad et al. (2008) que constataram diminuição das áreas aptas para o cultivo dos grãos e aumento de regiões de baixo risco climático à cana-de-açúcar e à mandioca com incremento da temperatura. Da mesma forma, Assad et al. (2004) previram drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção da cultura do café nos estados de São Paulo e Goiás, quando simularam os efeitos da elevação da temperatura e precipitação. Como consequência dessa nova geografia das culturas, poderão surgir novas pragas, bem como outras perderem sua importância econômica; denotando, assim, a dependência direta da entomofauna com as mudanças climáticas. Pesquisas com as alterações na distribuição geográfica de plantas e insetos nos cenários futuros são necessárias, pois as consequências econômicas, sociais e ambientais constituirão séria ameaça à agricultura. Segundo Ghini (2005), a análise desses efeitos é fundamental para a adoção de medidas de adaptação, com a finalidade de evitar prejuízos futuros.

Este capítulo focará na interação das mudanças climáticas com insetos de importância agrícola, com ênfase nos fatores abióticos temperatura e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

### **Projeções dos fatores climáticos e consequência na entomologia**

As mudanças climáticas no planeta são significativas, sendo as alterações na concentração de  $\text{CO}_2$ , metano, ozônio ( $\text{O}_3$ ) e vapor de água, responsáveis pelo aquecimento global (AMEIXA, 2010). Há previsões de aumento no nível de  $\text{CO}_2$  e da temperatura mé-

dia global para o cenário climático futuro (SOLOMON et al., 2007; STOCKER et al., 2014). Além desses fatores, é possível projetar, com menor confiabilidade, a precipitação pluviométrica, umidade e vento (HAMADA et al., 2011).

Os fatores abióticos têm efeitos diretos na biologia e na dinâmica populacional dos insetos, de forma a promover adaptações, mudanças geográficas ou, no pior cenário, levar à extinção de espécies; e indiretos por meio da alteração na qualidade das plantas e consequentemente efeitos nos insetos. Se as previsões atuais estiverem corretas, o aumento dos fatores climáticos pode ultrapassar a capacidade dos organismos de se adaptarem às mudanças (FLYNN et al., 2006), modificando o cenário fitossanitário da agricultura atual. No entanto, a adaptação do inseto sob alta pressão de seleção não tem sido pesquisada, sendo que novos biótipos mais adaptados ao cenário futuro poderão ocorrer, alterando as previsões.

As interações nos diferentes níveis tróficos (planta, inseto fitófago e inimigos naturais) são resultados de um processo co-evolutivo longo dentro de condições climáticas específicas. As mudanças climáticas podem afetar a biologia de cada espécie componente, desestabilizando a dinâmica e levando à extinção de parte do sistema (PUTTEN et al., 2004), interferindo nos padrões de biodiversidade e de produtividade agrícola (KÖRNER, 2000, 2003; THEURILLAT; GUIBAN, 2001). Em tais cenários, a resposta dos insetos herbívoros, que anualmente comprometem 10% a 15% da produtividade mundial, será afetada (CRAWLEY, 1983), conforme exemplos da Tabela 1, evidenciando que a resposta é exclusiva para cada espécie de inseto e variável em função das plantas hospedeiras ou presas/hospedeiros.

O impacto das mudanças climáticas tende a ser relativamente mais importante nos níveis tróficos superiores, que dependem da capacidade dos níveis tróficos inferiores para se adaptarem a essas mu-

danças. Parasitoides e predadores são, portanto, organismos para os quais graves efeitos são esperados, uma vez que representam o terceiro nível trófico (HANCE et al., 2007).

Vale ressaltar que, além do efeito das mudanças climáticas na entomofauna, pode-se esperar que o contrário ocorra. Por exemplo, o besouro *Dendroctonus ponderosae* em condições de alta temperatura e baixo regime pluviométrico atinge alta densidade populacional, provocando a morte e a decomposição de árvores, com consequente liberação do carbono para a atmosfera, resultando no aumento de gases de efeito estufa (KURZ et al., 2008).

**Tabela 1.** Resposta da planta hospedeira, inseto-praga e inimigo natural submetidos a níveis elevados de CO<sub>2</sub>.

| INSETOS PRAGA                |                                |             |                            |                                  |                   |                                     |
|------------------------------|--------------------------------|-------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Planta hospedeira            | Insetos                        | Ordem       | Nível CO <sub>2</sub>      | Efeito sobre a planta hospedeira | Impacto no inseto | Referência                          |
| <i>Pennisetum purpureum</i>  | <i>Sipha flava</i>             | Hemiptera   | 500 ppm                    | Não avaliada                     | Desfavorável      | Aud et al. (2012)                   |
| <i>Brachiarita spp</i>       | <i>Mahanarva spectabilis</i>   | Hemiptera   | 500 ppm                    | Desfavorável                     | Favorável         | Ferreira et al. (2013)              |
| <i>Pennisetum purpureum</i>  | <i>Mahanarva spectabilis</i>   | Hemiptera   | 500 ppm                    | Favorável                        | Favorável         | Ferreira et al. (2013)              |
| <i>Espécies florestais</i>   | <i>Polydrusus sericeus</i>     | Coleoptera  | 560 ppm                    | Não avaliada                     | Desfavorável      | Hillstrom et al. (2010)             |
| <i>Zea mays</i>              | <i>Helicoverpa armigera</i>    | Lepidoptera | 750 µL L <sup>-1</sup>     | Desfavorável                     | Desfavorável      | Yin et al. (2010)                   |
| <i>Tribolium pratense</i>    | <i>Acyrtosiphon pisum</i>      | Hemiptera   | 537 µL L <sup>-1</sup>     | Não avaliada                     | Desfavorável      | Mondor et al. (2010)                |
| <i>Glycine max</i>           | <i>Diabrotica virgifera</i>    | Hemiptera   | 550 µmol mol <sup>-1</sup> | Não avaliada                     | Favorável         | Dermody et al. (2008)               |
| <i>Glycine max</i>           | <i>Aphis glycines</i>          | Coleoptera  | 550 µmol mol <sup>-1</sup> | Não avaliada                     | Favorável         | "                                   |
| <i>Triticum aestivum</i>     | <i>Sitobion avenae</i>         | Hemiptera   | 750 ppm                    | Favorável                        | Favorável         | Chen et al. (2004)                  |
| <i>Betula pendula</i>        | <i>Phyllobius maculicornis</i> | Coleoptera  | 700ppm                     | Desfavorável                     | Favorável         | Kuokkanen et al. (2003)             |
| <i>Brassicaceae oleracea</i> | <i>Myzus persicae</i>          | Hemiptera   | 650 ppm                    | Favorável                        | Favorável         | Stacey e Fellowes (2002)            |
| <i>Brassicaceae oleracea</i> | <i>Brevicoryne brassicae</i>   | Hemiptera   | 650 ppm                    | Favorável                        | Favorável         | "                                   |
| <i>Vicia faba</i>            | <i>Acyrtosiphon pisum</i>      | Hemiptera   | 700 µL L <sup>-1</sup>     | Favorável                        | Desfavorável      | Hughes e Bazzaz (2001)              |
| <i>Asclepias syriaca</i>     | <i>Aphis nerii</i>             | Hemiptera   | 700 µL L <sup>-1</sup>     | Favorável                        | Não afetada       | "                                   |
| <i>Oenothera biennis</i>     | <i>Aphis oenotherae</i>        | Hemiptera   | 700 µL L <sup>-1</sup>     | Favorável                        | Não afetada       | "                                   |
| <i>Nicotiana sylvestris</i>  | <i>Aulacorthum solani</i>      | Hemiptera   | 700 µL L <sup>-1</sup>     | Favorável                        | Não afetada       | "                                   |
| <i>Solanum dulcamara</i>     | <i>Myzus persicae</i>          | Hemiptera   | 700 µL L <sup>-1</sup>     | Favorável                        | Favorável         | "                                   |
| <i>Quercus petraea</i>       | <i>Lymantria dispar</i>        | Lepidoptera | 530 ppm                    | Desfavorável                     | Desfavorável      | Hattenschwiler e Schafellner (2004) |
| <i>Populus tremuloides</i>   | <i>Malacosoma disstria</i>     | Lepidoptera | 560 ppm                    | Desfavorável                     | Não afetada       | Kopper e Lindroth (2003)            |
| <i>Salix myrsinifolia</i>    | <i>Phratora vitelline</i>      | Coleoptera  | 700 ppm                    | Favorável                        | Desfavorável      | Veteli et al. (2002)                |
| <i>Juncus squarrosus</i>     | <i>Neophilaenus lineatus</i>   | Hemiptera   | 600 ppm                    | Desfavorável                     | Desfavorável      | Brooks e Whittaker (1999)           |

*continua...*

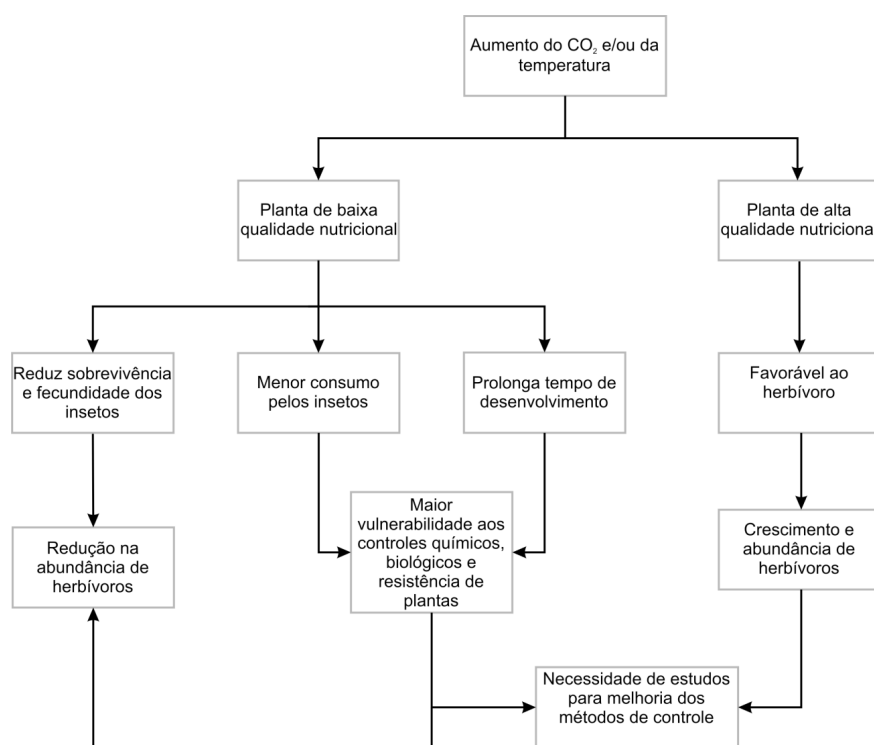
Tabela 1. continuação

| INSETOS PRAGA         |                          |             |                                       |                                  |                               |                          |
|-----------------------|--------------------------|-------------|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Planta hospedeira     | Insetos                  | Ordem       | Nível CO <sub>2</sub>                 | Efeito sobre a planta hospedeira | Impacto no inseto             | Referência               |
| Populus tremuloides   | Tipula abdominalis       | Diptera     | 720 ppm                               | Favorável                        | Desfavorável                  | Tuchman et al. (2002)    |
| Sonchus oleraceus     | Chromatomyia syngenesiae | Diptera     | Ambiente + 200 ppm                    | Favorável                        | Desfavorável                  | Smith e Jones (1998)     |
| Gossypium hirsutum    | Bemisia tabaci           | Hemiptera   | 500-600 µL L <sup>-1</sup>            | Não avaliada                     | Não afetada                   | Butler et al. (1986)     |
| Hordeum vulgare       | R. padi                  | Hemiptera   | 700 ppm                               | Desfavorável                     | Favorável                     | Ryan et al. (2015)       |
| Brachiaria brizantha  | Collaria oleosa          | Hemiptera   | 700 ppm                               | não avaliado                     | Desfavorável                  | Silva et al. (2016)      |
| Fagus sylvatica       | Rhynchaenus fagi         | Coleoptera  | 600 µL L <sup>-1</sup>                | Não afetada                      | Não afetada                   | Docherty et al. (1996)   |
| INIMIGOS NATURAIS     |                          |             |                                       |                                  |                               |                          |
| Insetos praga         | Inseto Inimigo natural   | Ação        | Nível CO <sub>2</sub>                 | Efeito na Presa/Hospedeiro       | Impacto sobre inimigo natural | Referência               |
| Myzus persicae        | Hippodamia convergens    | Predador    | 650 ppm                               | Favorável                        | Não afetado                   | Stacey e Fellowes (2002) |
| Brevicoryne brassicae | Hippodamia convergens    | Predador    | 650ppm                                | Favorável                        | Não afetado                   | "                        |
| Myzus persicae        | Diaeretiella rapae       | Parasitóide | 650ppm                                | Favorável                        | Não afetado                   | "                        |
| Brevicoryne brassicae | Diaeretiella rapae       | Parasitóide | 650ppm                                | Favorável                        | Não afetado                   | "                        |
| Myzus persicae        | Aphidius matricariae     | Parasitóide | Ambiente + 200 µmol mol <sup>-1</sup> | Favorável                        | Não afetado                   | Bezemer et al. (1998)    |
| S. flava              | Diomus seminulus         | Predador    | 500 ppm                               | Não avaliado                     | Favorável                     | Fonseca et al. (2014)    |
| Aphis gossypii        | Chrysopa sinica          | Predador    | 750 µL L <sup>-1</sup>                | Não avaliado                     | Desfavorável                  | Gao et al. (2010)        |
| Aphis gossypii        | Propylaea japonica       | Predador    | 750 µL L <sup>-1</sup>                | Desfavorável                     | Desfavorável                  | Gao et al. (2008)        |
| Aphis gossypii        | Leis axyridis            | Predador    | 1050 ppm                              | Favorável                        | Favorável                     | Chen et al. (2005)       |
| Plutella xylostella   | Podisus maculiventris    | Predador    | 720 µmol mol <sup>-1</sup>            | Não avaliado                     | Desfavorável                  | Vuorinen et al. (2004)   |
| Plutella xylostella   | Cotesia plutellae        | Parasitóide | 720 µmol mol <sup>-1</sup>            | Não avaliado                     | Desfavorável                  | Vuorinen et al. (2004)   |

Obs.: impacto favorável, desfavorável ou não afetado, refere-se à interpretação dos autores do capítulo em função das referências bibliográficas citadas.

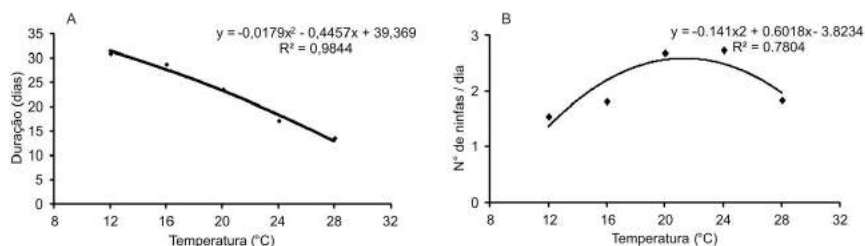
## Parâmetros biológicos dos insetos afetados pelas mudanças climáticas

Existe uma faixa de favorabilidade dos fatores abióticos (temperatura e  $\text{CO}_2$ ) específica para cada espécie de insetos, podendo alterar seus parâmetros biológicos (velocidade de desenvolvimento, sobrevivência, taxa de consumo e fertilidade) diretamente ou indiretamente em função da qualidade nutricional das plantas. Mediante essas interações poderá haver uma redução ou aumento na abundância dos herbívoros (Figura 1).



**Figura 1.** Efeito do aumento do nível de  $\text{CO}_2$  e/ou da temperatura na qualidade nutricional da planta hospedeira e consequente alteração na abundância de herbívoros.

Devido a sua natureza pecilotérmica, os insetos são muito propensos a responder rapidamente a temperaturas elevadas e esse aumento tem o potencial de afetar a maioria dos parâmetros da história de vida dos insetos, alterando as suas funções ecológicas, bem como interações intra e interespecíficas. Para a maioria das populações de insetos, a taxa intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) aumenta gradualmente com a temperatura até um limiar, após este diminui abruptamente. O aumento do  $r_m$  está geralmente relacionado à diminuição no tempo de desenvolvimento e incremento nas taxas reprodutivas até um limiar, como demonstrado para o afídio *Rhopalosiphum padi* (Figura 2).



**Figura 2.** Curvas de regressão ajustadas para a duração do ciclo ninfal (A) e para a produção de ninfas dia<sup>-1</sup> (B) de *Rhopalosiphum padi* mantidos em diferentes temperaturas.

Fonte: Auad et al. (2009).

Pesquisas sobre exigências térmicas no ciclo de vida de insetos vetores foram realizadas (BESERRA et al., 2006; CALADO; NAVARRO-SILVA, 2002; RIBEIRO et al., 2004). O tempo de desenvolvimento e viabilidade das fases de ovo, larva e pupa e a fecundidade dos adultos de *Aedes aegypti* foram favorecidos na faixa de 22°C a 32°C (BESERRA et al., 2009). Em geral, o aumento da temperatura promove redução significativa na duração dos insetos até determinado limite para pragas agrícolas (AUAD et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009) e inimigos naturais (CHONG et al., 2005; ELIOPOULOS et al., 2010, OLIVEIRA et al., 2010; YAO et al., 2011). Com esse parâmetro biológico obtido, é possível estimar a constante térmica em graus-dia e, com isso, prever o número

de gerações em função das alterações climáticas. Por exemplo, *Spodoptera frugiperda* pode atingir de 2 a 8 gerações ao ano nas condições térmicas atuais do Estado do Rio Grande do Sul, e 3 a 8, 6 a 10 e 8 a 13 gerações ao ano, com aumentos de 1°C, 3°C e 5,8°C, respectivamente (AFONSO et al., 2008).

A temperatura ótima para o desenvolvimento não é a mesma para presa/ hospedeiro e predador/parasitoide, o que obriga à seleção natural ou artificial dos agentes benéficos, que deverá estar em sincronismo com as exigências térmicas do inseto-praga. Um aumento na temperatura resultará em incremento da taxa metabólica tanto da praga quanto do inimigo natural. Para os inimigos naturais, isso poderá resultar em menor tempo de busca e manuseio da presa/hospedeiro e, conseqüentemente, em prejuízo à sua fecundidade.

As velocidades média e máxima de locomoção do parasitoide *Aphelinus asychis* aumentam com o aumento da temperatura de 8,5°C a 28,5°C (MASON; HOPPER, 1997). Taxas de parasitismo de *Aphidius colemani* e *Aphidius matricariae*, estimadas como a percentagem de pulgões mumificados, aumentaram quase linearmente, sendo máxima a 25°C (ZAMANI et al., 2007). No Brasil, *Chrysoperla externa* é o predador mais estudado, devido a sua ampla ocorrência em várias culturas e por preda várias espécies de pragas. Estudos mostraram a eficiência desse predador no programa de manejo integrado dos afídeos *Schizaphis graminum* (FIGUEIRA et al., 2002; FONSECA et al., 2001), e *Rhopalosiphum maidis* (MAIA et al., 2004). Esses estudos relataram que a faixa favorável para o desenvolvimento desse predador está entre 12°C e 30°C. Ainda no Brasil, Fonseca et al. (2016) observaram que as temperaturas de 24 a 28°C são consideradas favoráveis, a 20°C pouco favorável e as extremas (16 e 32°C) não favoráveis ao desenvolvimento de *Mahanarva spectabilis*. Diante desses resultados foi possível gerar mapas de distribuição no cenário climático futuro, sendo estimada a redução da ocorrência desse inseto-praga nas regiões Norte e Nordeste, manutenção das áreas favoráveis nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, além de incremento na região Sul no ano de 2080.

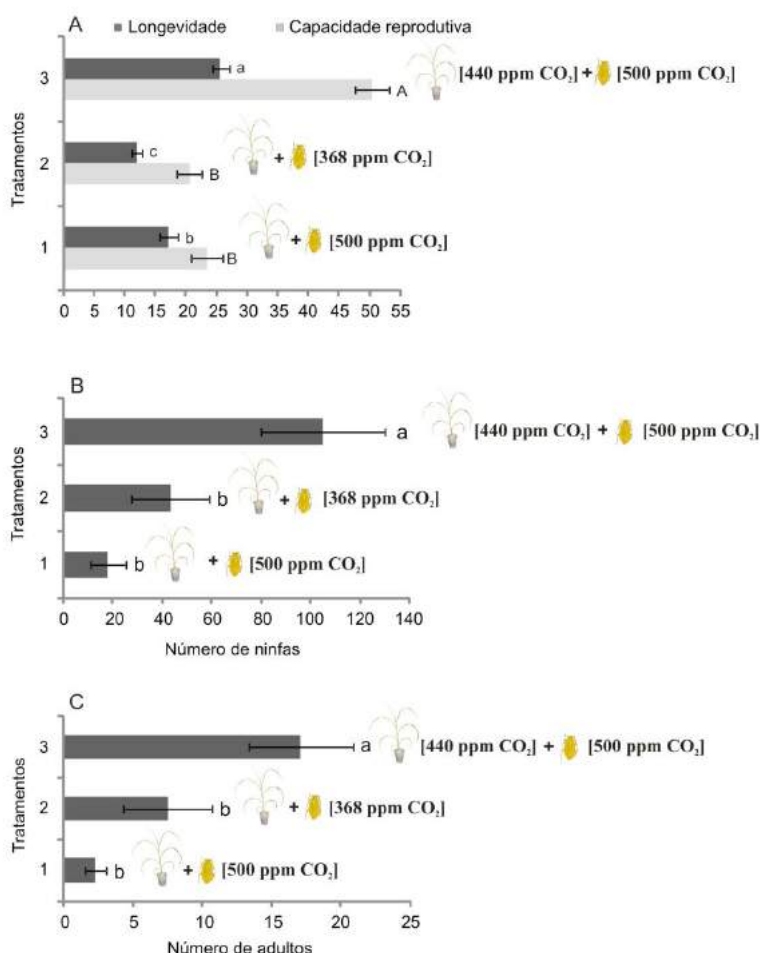
O aquecimento global pode também afetar de forma indireta a entomofauna, quando ocorre a quebra de sincronismo entre a planta hospedeira e os insetos, pois, com a elevação da temperatura, é esperada antecipação da brotação e floração de algumas plantas, prejudicando os visitantes florais.

Entre os gases que promovem o aquecimento global, maior atenção tem sido dada ao CO<sub>2</sub>. Esse gás tende a aumentar a fotossíntese, o crescimento, o rendimento e a relação C:N na maioria das espécies de plantas (PRITCHARD et al., 1999), o que pode afetar a qualidade e a quantidade de alimentos disponíveis para os herbívoros (CHEN et al., 2004, 2007; DERMODY et al., 2008; HUGHES; BAZZAZ, 2001; HUNTER, 2001; MONDOR et al., 2010; NEWMAN, 2003; STACEY; FELLOWES, 2002). A interação inseto x planta hospedeira sob elevado nível de CO<sub>2</sub> tem sido intensivamente estudada em outros países (Tabela 1).

O quanto os insetos são afetados pelas elevadas condições de CO<sub>2</sub> foi mencionado por Stiling e Cornelissen (2007), por meio de uma meta-análise incluindo 75 publicações científicas, em que registraram: declínio de 22% na abundância de herbívoros, 9% na taxa de crescimento relativo e 5% no peso pupal, assim como aumento de 9% nas taxas de consumo total e 4% no tempo de desenvolvimento. Segundo Brooks e Whittaker (1999), os insetos mastigadores são capazes de compensar a baixa qualidade nutricional da planta pelo aumento na taxa de consumo.

A alteração da resposta do inseto em função da condição climática em que a planta foi mantida foi pesquisada no Brasil por Auad et al. (2012). Esses autores relataram que a longevidade e capacidade reprodutiva do inseto praga das forrageiras, *Sipha flava*, foram significativamente maiores quando os afídeos foram mantidos em nível de CO<sub>2</sub> alto e constante (500 ppm) e alimentados de forrageiras mantidas em casa-de-vegetação (440 ppm), comparado com aqueles em que plantas e insetos foram submetidos a altos níveis de CO<sub>2</sub> (500

ppm) ou mantidos em nível de  $\text{CO}_2$  oscilante (368 ppm) (Figura 3A). O mesmo ocorreu para a obtenção de maior número de ninfas (Figura 3B) e adultos (Figura 3C) em estudo da *performance* populacional desse inseto.



**Figura 3.** *Performance* individual de *Siphia flava*: longevidade e capacidade reprodutiva (A); *performance* populacional: número de ninfas (B) e de adultos (C) do afídeo, quando submetidos aos tratamentos: Tratamento 1- Afídeo e forrageira mantidos em nível de  $\text{CO}_2$  alto e constante (500 ppm); Tratamento 2- Afídeo e forrageira mantidos em nível de  $\text{CO}_2$  oscilante (368 ppm); Tratamento 3- Afídeo mantido em nível de  $\text{CO}_2$  alto e constante (500 ppm) e alimentados de forrageiras mantidas em casa-de-vegetação (440 ppm). Médias seguidas de mesma letra não diferiram significativamente pelo teste Tukey ( $P < 0.05$ )

Fonte: Auad et al. (2012).

Também no Brasil, Ferreira et al. (2013) verificaram que o aumento no nível de CO<sub>2</sub> aumentou a sobrevivência ninfal do inseto-praga *Mahanarva spectabilis* (Hemiptera: Cercopidae) e o acúmulo de matéria seca de cultivares de capim-elefante. Para o percevejo *Collaria oleosa* (DISTANT, 1863), Silva (2016) registrou que a maior duração e menor sobrevivência induziram a redução de número de gerações e o número de indivíduos. Ressalta-se que a resistência da espécie forrageira *Brachiaria brizantha* se manterá no cenário climático futuro. Da mesma forma, os genótipos de *Brachiaria ruziziensis* avaliados demonstraram ser resistentes na condição atual e futura, sendo indicados em regiões com infestação de *C. oleosa*.

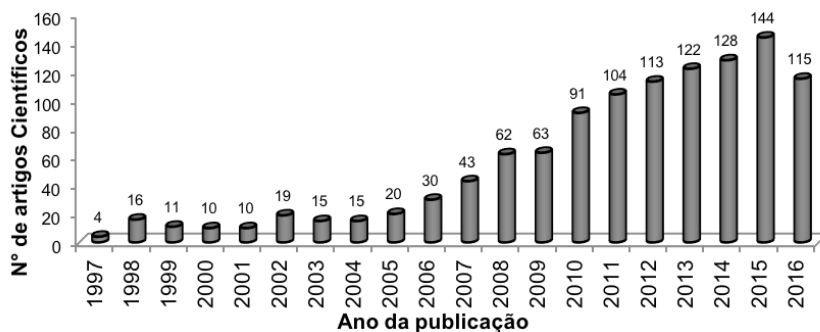
O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pode também ter efeito no terceiro nível trófico (Tabela 1). Em pesquisa realizada por Chen et al. (2007) em um sistema tritrófico submetido às concentrações de CO<sub>2</sub> (550 µl.L<sup>-1</sup> e 750 µl.L<sup>-1</sup> versus CO<sub>2</sub> ambiente), composto por trigo (*Triticum aestivum*), afídeo praga (*Sitobion avenae*) e os inimigos naturais (*Harmonia axyridis*, predador, e *Aphidius picipes*, parasitoide), constataram que os elevados níveis de CO<sub>2</sub> promoveram pouco efeito sobre o crescimento e desenvolvimento do predador e efeito negativo dessas características biológicas sobre o parasitoide. No entanto, predador e parasitoide aumentaram sua taxa de consumo. Esses resultados corroboram aos de Chen et al. (2005) que observam aumento no consumo de *Aphis gossypii* por *Leis axyridis*, criados em plantas de algodão cultivadas em níveis elevados de CO<sub>2</sub> (1005 ppm). Segundo esses autores, o aumento no consumo foi para compensar os reduzidos níveis de proteínas solúveis presentes nas presas, sendo resultado da diminuição do N foliar e aumento da relação C:N da planta. Os resultados acima discordam daqueles obtido por Stacey e Fellowes (2002), que, apesar de constatarem alterações na qualidade da planta hospedeira e do inseto-praga *Brevicoryne brassica*, submetidos a altos níveis de

CO<sub>2</sub>, o número de presas/hospedeiro consumido por *Hippodamia convergens* e *Diaeretiella rapae* não foi alterado. Fonseca et al. (2014) registraram a primeira evidência do efeito do aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico na interação tritrófica (capim-elefante x *Sipha flava* x predador). O predador *Diomus seminulus* (Mulsant, 1850) apresentou preferência significativa por plantas+insetos crescidos em ambiente com o nível do CO<sub>2</sub> elevado, sendo indicado para o controle de *S. flava* no cenário futuro. No trabalho de Bezemer et al. (1998) foi constatado que a planta *Brassica oleracea* e a taxa de parasitismo de *Aphidius matricariae* não foram afetados, mas abundância do afídeo *Myzus persicae* foi aumentada, em condições de CO<sub>2</sub> elevado (ambiente + 200 µmol mol<sup>-1</sup>). Para os resultados supracitados em que houve melhoria na *performance* do inimigo natural, em um cenário de mudanças climáticas, pode prever que o potencial biótico do inseto-praga será menor.

Pelos exemplos citados acima ficam evidentes as alterações que as mudanças climáticas acarretam no sistema tritrófico, em que, caso um dos níveis seja afetado, todo o sistema é alterado.

### **Pesquisas realizadas sobre mudanças climáticas na entomologia no Brasil**

Pesquisas relacionadas com os efeitos das mudanças climáticas sobre os insetos têm aumentado rapidamente no mundo. Uma análise utilizando uma combinação de palavras-chave (“climate change” and “insects”) no banco de dados Web of Science nos últimos 20 anos e, selecionando, especificamente, aqueles relacionados a mudanças climáticas na entomologia, mostrou um total de 1.135 artigos científicos e a maioria dessa produção é recente, sendo 87% publicados nos últimos dez anos (Figura 4).



**Figura 4.** Número de artigos científicos publicados nos últimos 20 anos. Pesquisa bibliográfica obtida utilizando os termos “climate change and insects” no site Web of Science.

Apesar da importância dessa linha de pesquisa, há poucos trabalhos publicados a respeito dos efeitos das mudanças climáticas sobre insetos no Brasil. Porém, os eventos XXIII congresso de Entomologia e XII Simpósio de Controle Biológico abordaram o tema “Mudanças climáticas” realçando a importância que o assunto vem assumindo. A literatura entomológica, apesar de ser rica em relação ao efeito do aumento da temperatura na biologia e dinâmica populacional de insetos-praga, limita-se a esse fator, esquecendo fatores de grande importância como, por exemplo, o  $\text{CO}_2$ . Sendo assim, as previsões das alterações na ocorrência de problemas fitossanitários em decorrência das mudanças climáticas se limitam às condições térmicas.

O projeto “*Impactos das mudanças climáticas globais sobre problemas fitossanitários*” fez parte da carteira de projetos da Embrapa, tendo a participação de mais de 130 pesquisadores de 37 instituições, sendo 16 Centros de Pesquisa da Embrapa, 21 instituições de pesquisa, ensino e do setor privado, distribuídos em 12 estados do Brasil, abordando todas as cinco regiões do País. Foram estudados os efeitos das alterações de  $\text{CO}_2$  e temperatura em espécies florestais, maçã, pêssego, soja, uva, milho, mamona, algodão, for-

rageiras, café, mandioca, banana, manga e laranja. Com os resultados dessas pesquisas, foi possível desenvolver alternativas de adaptação para o controle dos problemas fitossanitários indicados como predominantes nos cenários climáticos projetados.

No Brasil, para as principais pragas das grandes culturas, os métodos de controle atuais foram definidos após anos de pesquisas. Porém, com as alterações climáticas, a eficiência desses métodos poderá ser comprometida, o que leva à necessidade de novos direcionamentos das pesquisas nessa nova realidade. Para o controle por meio de resistência de plantas, as modificações na fisiologia das plantas submetidas às condições climáticas futuras poderão alterar esse mecanismo em cultivares atualmente recomendadas para os produtores. Estudos realizados por Ferreira et al. (2013) constataram que os padrões de suscetibilidade e resistência das forrageiras capim-elefante e braquiária serão mantidos sob altas concentrações de  $\text{CO}_2$ , evidenciando que no cenário futuro essa estratégia de controle das cigarrinhas-das pastagens continuará a ser viável. Este é um estudo pioneiro no Brasil e, devido à importância desse método de controle, recomenda-se que novos estudos sejam conduzidos para outras culturas.

O Brasil utiliza grande quantidade de produtos fitossanitários para controle dos principais insetos-praga das grandes culturas. Sendo assim, há necessidade da realização de pesquisa semelhante àquela conduzida por Chen e McCarl (2001), em que quantificaram as alterações no gasto com agrotóxico em função das alterações climáticas, tendo como premissa que o aumento ou redução da ocorrência de problemas fitossanitários resultará em maior ou menor gasto com o controle químico. Ressalta-se que as alterações no comportamento dos insetos herbívoros e inimigos naturais (mobilidade, agressividade e capacidade de consumo, entre outros) submetidos a ambiente com elevação de temperatura e  $\text{CO}_2$  podem alterar a eficiência dos produtos fitossanitários atualmente recomendados para controle.

Informações do impacto das mudanças climáticas em relação ao controle biológico no Brasil são escassas. Assim, pesquisas que evidenciem o efeito das mudanças climáticas na localização da presa/hospedeiro, nas alterações fisiológicas dos predadores e parasitoides, assim como no sincronismo entre os inimigos naturais e presas, são necessárias com intuito de adequação ao novo cenário, de forma a garantir a manutenção da eficiência, visto que alguns agentes de controle biológico são utilizados com eficiência para o controle de diversos insetos-praga.

Conforme exposto acima, fica evidente a necessidade de avaliações periódicas da manutenção da eficiência dos métodos de controle atuais, pois, caso seja necessário, as estratégias e táticas do manejo integrado de pragas deverão ser redefinidas, de forma a não comprometer a sustentabilidade do sistema produtivo.

### **Considerações finais**

Os insetos podem ser bons indicadores biológicos das alterações climáticas previstas para os cenários futuros, devido ao seu curto ciclo biológico, o que proporciona grande número de gerações em curto espaço de tempo, a menor exigência de espaço físico e a grande diversidade existente.

Em função dos cenários futuros previstos, o Brasil terá um grande desafio no planejamento do controle fitossanitário que envolve os insetos. Nesse esforço, é de grande importância a participação e o fortalecimento da comunidade científica, de forma a intensificar o conhecimento acerca da entomofauna, identificando as espécies ameaçadas de extinção, o comportamento dos insetos-praga e daqueles em equilíbrio natural, bem como dos inimigos naturais no cenário futuro.

Para as culturas que já apresentam um manejo integrado de pragas bem definido, é imprescindível que se conheçam as interferências das mudanças climáticas nas estratégias e táticas de controle de forma a não comprometer a sustentabilidade do sistema produtivo.

## Referências

- AFONSO, A. P. S.; NAVA, D. E.; MARTINS, J. F. S.; WREGE, M. S.; DIEZ-RODRIGUEZ, G. I. **Zoneamento ecológico de *Spodoptera frugiperda*, *Anastrepha fraterculus* e *Grapholita molesta* para o Rio Grande do Sul e sua relação com as mudanças climáticas globais**. Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT, 2008. 23 p. (Embrapa Clima Temperado, Documento, 252).
- AMEIXA, O. M. C. C. Aphids in a changing world. In: KINDLMANN, P; DIXON, A. F. G.; MCHAUD, J. P. (Ed.). **Aphid biodiversity under environmental change**. London: Spring, 2010. p. 21-40.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; EVANGELISTA, S. R.; OTAVIAN, A. F. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Brasília, DF: Embaixada Britânica, 2008. 82 p.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.
- AUAD, A. M.; ALVES, S. O.; CARVALHO, C. A.; SILVA, D. M.; RESENDE, T. T.; VERÍSSIMO, B. A. The impact of temperature on biological aspects and life table of *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) fed with signal grass. **Florida Entomologist**, v. 92, n. 4, p. 569-577, 2009.
- AUAD, A. M.; FONSECA, M.G.; RESENDE, T.T.; MADDALENA, I.S.C.P. Effect of climate change on longevity and reproduction of *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae). **Florida Entomologist**, v. 95, n. 2, p. 433-444, 2012.
- BENTO, J. M. S. Perdas por insetos na agricultura. **Ação Ambiental**, v. 4, n. 2, p.19-21, 1999.
- BESERRA, E. B.; CASTRO-JÚNIOR, F. P.; SANTOS, J. W.; SANTOS, T. S.; FERNANDES, C. R. M. Biologia e exigências térmicas de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) provenientes de quatro regiões bioclimáticas da Paraíba. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 6, p. 853-860, 2006.

BESERRA, E. B.; FERNADES, C. R. M.; SILVA, S. A. O.; SILVA, L. A.; SANTO, J. W. Efeitos da temperatura no ciclo de vida, exigências térmicas e estimativas do número de gerações anuais de *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 99, n. 2, p. 142-148, 2009.

BEZEMER, T. M.; JONES, T. H.; KNIGHT, K. J. Long-term effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on populations of the peach-potato aphid *Myzus persicae* and its parasitoid *Aphidius matricariae*. **Oecologia**, v. 116, p. 128-135, 1998.

BROOKS, G. L.; WHITTAKER, J. B. Response of three generations of a xylem-feeding insect, *Neophilaenus lineatus* (Homoptera) to elevated CO<sub>2</sub>. **Global Change Biology**, v. 5, n. 4, p. 395-401, 1999.

BUTLER, G. D.; KIMBALL, B. A.; MAUNY, J. R. Populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton grown in open-top field chambers enriched with CO<sub>2</sub>. **Environmental Entomology**, v. 15, p. 61-63, 1986.

CALADO, D. C.; NAVARRO-SILVA, M. A. Avaliação da influência da temperatura sobre o desenvolvimento de *Aedes albopictus*. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 2, p. 173-179, 2002.

CHEN, C. C.; McCARL, B. A. An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change. **Climate Change**, v. 50, p. 475-487, 2001.

CHEN, F.; GE, F.; PARAJULEE, M. N. Impact of elevated CO<sub>2</sub> on tri-trophic interaction of *Gossypium hirsutum*, *Aphis gossypii*, and *Leis axyridis*. **Physiological Ecology**, v. 34, p. 37-46, 2005.

CHEN, F. J.; WU, G.; GE, F. Impacts of elevated CO<sub>2</sub> on the population abundance and reproductiva activity of aphid *Sitobion avenae* Fabricius feeding on spring wheat. **Journal of Applied Entomology**, v. 128, n. 9-10, p. 723-730, 2004.

CHEN, F. J.; WU, G.; PARAJULEE, M. N.; GE, F. Long-term impacts of elevated carbon dioxide and transgenic Bt cotton on performance and feeding of three generations of cotton bollworm. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 124, p. 27-35, 2007.

CHONG, J. H.; OETTING, R. D.; OSBORNE, L. S. Development of *Diomus austrinus* Gordon (Coleoptera: Coccinellidae) on two mealybug prey species at five constant temperatures. **Biological Control**, v. 33, n. 1, p. 39-48, 2005.

CRAMER, H. H. **Plant protection and world crop production**. Leverkusen: Bayer, 1967. 524 p.

CRAWLEY, M. J. **Herbivory the dynamics of animal: plant interaction**. Berkeley: University of California Press, 1983. 447 p.

DERMODY, O.; O'NEILL, B. F.; ZANGERL, A. R.; BERENBAUM, M. R.; DeLUCIA, E. H. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on leaf damage and insect abundance in a soybean agroecosystem. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 2, n. 3, p. 125-135, 2008.

DOCHERTY, M.; HURST, D. K.; HOLOPAINEM, J. K.; WHITTAKER, J. B.; LEA, P.J.; WATT, A. D. Carbon dioxide-induced changes in beech foliage cause female beech weevil larvae to feed in a compensatory manner. **Global Change Biology**, v. 2, p. 335-341, 1996.

ELIOPOULOS, P. A.; KONTODIMAS, D. C.; STATHAS, G. J. Temperature-dependent development of *Chilocorus bipustulatus* (Coleoptera: Coccinellidae). **Molecular Ecology and Evolution**, v. 39, n. 4, p. 1352-1358, 2010.

FERREIRA, R. B.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; FONSECA, M. G. Interaction of spittlebug and forage grass under different carbon dioxide concentrations. **Journal of Pest Science**, v. 86, n. 2, p. 161-166, 2013.

FIGUEIRA, L. K.; LARA, F. M.; CRUZ, I. Efeito de genótipos de sorgo sobre o predador *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentado com *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 1, p. 133-139, 2002.

FLYNN, D. F. B.; SUDDERTH, E. A.; BAZZAS, F. A. Effects of aphid herbivory on biomass and leaf-level physiology of *Solanum dulcamara* under elevated temperature and CO<sub>2</sub>. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 1, p. 10-18, 2006.

FONSECA, A. R.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Capacidade predatória e aspectos bilógicos das fases imaturas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera:Chrysopidae) alimentada de *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera:Aphididae) em diferentes temperaturas. **Ciência Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 251-263, 2001.

FONSECA, M. G.; AUAD, A. M.; RESENDE, T. T.; HOTT, M. C.; BORGES, C.A.V. How will *Mahanarva spectabilis* (Hemiptera: Cercopidae) Respond to Global Warming? **Journal of Insect Science**, v. 16, n. 1, p. 1-6, 2016.

FONSECA, M. G.; SANTOS, D. R.; AUAD, A. M. Impact of different carbon dioxide concentrations in the olfactory response of *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae) and its predators. **Journal of Insect Behaviour**, v. 27, n.6, p. 722-728, 2014.

GAO, F.; CHEN, F.; GE, F. Elevated CO<sub>2</sub> lessens predation of *Chrysopa sinica* on *Aphis gossypii*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 135, p.135-140, 2010.

GAO, F.; ZHU, S.R.; SUN, Y.C.; DU, L.; PARAJULEE, M.; KANG, L.; GE, F. Interactive effects of elevated CO<sub>2</sub> and cotton cultivar on tri-trophic interaction of *Gossypium hirsutum*, *Aphis gossypii*, and *Propylaea japonica*. **Physiological Ecology**, v.37, p. 29-37, 2008.

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

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P.S. Importância, diversidade e conservação dos insetos. In: GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. (Ed.). **Os insetos: um resumo de entomologia**. São Paulo: Roca, 2012, p. 1-19.

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds). **Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 43-74.

HANCE, T.; VAN BAAREN, J.; VERNON, P.; BOIVIN, G. Impact of temperature extremes on parasitoids in a climate change perspective. **Annual Review of Entomology**. v. 52, p. 107-126, 2007.

HATTENSCHWILER, S.; SHAFELLNER, C. Gypsy moth feeding in the canopy of a CO<sub>2</sub>-enriched mature forest. **Global Change Biology**, v.10, p.1899-1908, 2004.

HILLSTROM, M. L.; VIGUE, L. M.; COYLE, D. R.; RAFFA, K. F.; LINDROTH, R. L. Performance of the invasive weevil *Polydrusus sericeus* is influenced by atmospheric CO<sub>2</sub> and host species. **Agricultural and Forest Entomology**, v.12, p.185-292, 2010.

KUOKKANEN, K.; YAN, SCHANCHUN.; NIEMELÄ, P. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on the leaf chemistry of birch *Betula pendula* (Roth) and the feeding behaviour of the weevil *Phyllotribus maculicornis*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.5, p. 209- 217, 2003.

HUGUES, L.; BAZZAZ, F. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on five plant-aphid interactions. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 99, p. 87-96, 2001.

HUNTER, M. D. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 3, n. 3 p. 153-159, 2001.

KOPPER, B. J.; LINDORTH, R. L. Effects of elevated carbon dioxide and ozone on the phytochemistry of aspen and performance of an herbivore. **Oecologia**, v.134,

p.95-103, 2003.

KÖRNER C. Biosphere responses to CO<sub>2</sub> enrichment. **Ecology Applied** v. 10, p. 1590-1619, 2000.

KÖRNER C. Ecological impacts of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on terrestrial ecosystems. **Philosophical Transactions of The Royal Society A**, v. 361, p. 2023-2041, 2003.

KUOKKANEN, K.; YAN, SCHANCHUN.; NIEMELÄ, P. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on the leaf chemistry of birch *Betula pendula* (Roth) and the feeding behaviour of the weevil *Phyllotribus maculicornis*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.5, p. 209- 217, 2003.

KURZ, W. A.; DYMOND, C. C.; STINSON, G.; RAMPLEY, G. J.; NEILSON, E. T.; CARROLL, A. L.; EBATA, T.; SAFRANYIK, L. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. **Nature**, v. 452, n. 7190, p. 987-990, 2008.

MAIA, W. J. M. S.; CARVALHO, C. F.; CRUZ, I.; SOUZA, B.; MAIA, T. J. A. Capacidade predatória e aspectos biológicos *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera:Chrysopidae) alimentada com *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 6, p. 1259-1268, 2004.

MASON, P. G.; HOPPER, K. R. Temperature dependence in locomotion of the parasitoid *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae) from geographical regions with different climates. **Environmental Entomology**, v. 26, n. 6, p. 1416-1423, 1997.

METCALF, R. Applied entomology in the twenty-first century: needs and prospects. **America Entomological**, v. 42, n. 4, p. 216-227, 1996.

MONDOR, E. B.; AWMACK, C. S.; LINDROTH, R. L. Individual growth rates do not predict aphid population densities under altered atmospheric conditions. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 12, n. 3, p. 293-299, 2010.

NEWMAN, J. A. Climate change and cereal aphids: the relative effects of increasing CO<sub>2</sub> and temperature on aphid population dynamics. **Global Change Biology**, v. 10, n. 1, p. 5-15, 2003.

OLIVEIRA, A. O.; AUAD, A. M.; SOUZA, B.; SOUZA, L. S.; AMARAL, R. L.; SILVA, D. M. Tabela de esperança de vida e de fertilidade de *Sipha flava* (Forbes) (Hemiptera, Aphididae) alimentado com capim-elefante em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 4, p. 614-619, 2009.

OLIVEIRA, C.M.; AUAD, A.M.; MENDES, S.M.; FRIZZAS, M.R. Crop losses and the

economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50-54, 2014.

OLIVEIRA, S. A.; AUAD, A. M.; SOUZA, B.; SILVA, D. M.; CARVALHO, C. A. Effect of temperature on the interaction between *Chrysoperla externa* (Neuroptera:Chrysopidae) and *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae). **European Journal of Entomology**, v. 107, n. 2, p. 183-188, 2010.

PIMENTEL, D. World food crisis: energy and pests. **Bulletin of the Entomological Society of America**, v. 22, n. 1, p. 20-26, 1976.

PRITCHARD, S. G.; ROGERS, H. H.; PRIOR, S. A.; PETERSON, C. M. Elevated CO<sub>2</sub> and plant structure: a review. **Global Change Biology**, v. 5, n. 7, p. 807-837, 1999.

PUTTEN, W. H. van der; RUITERB, P. C.; BEZEMERA T. M.; HARVEY, J. A.; WASSEN, M.; WOLTERS, V. Tropical interactions in a changing world. **Basic and Applied Ecology**, v. 5, n. 6, p. 487-594, 2004.

RYAN, G.; SILVESTER, E. V. A.; SHELP, B. J.; NEWMAN J. Towards an understanding of how phloem amino acid composition shapes elevated CO<sub>2</sub>-induced changes in aphid population dynamics. **Ecological Entomology**, v.15, p. 247-257, 2015.

RIBEIRO, P. B; COSTA, P. R. P; LOECK, A. E; VIANA, E. E. S.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Exigências térmicas de *Culex quinquefasciatus* (Diptera, Culicidae) em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 94, n. 2, p. 177-180, 2004.

SILVA, D. M. **Avaliação de genótipos de *Brachiaria ruziziensis* com e sem aplicação de silício e diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> sobre *Collaria oleosa* (Hemiptera: miridae).** 2016. 110 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SOLOMON, S., QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom, New York: Cambridge University Press, Cambridge, 2007. 996 p.

SMITH, P. H. D.; JONES, T. H. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on the chrysanthemum leafminer, *Chromatomyia syngenesiae*: a greenhouse study. **Global Change Biology**, v. 4, p. 287-291, 1998.

STACEY, D.; FELLOWES, M. D. E. Influence of elevated CO<sub>2</sub> on interspecific

interactions at higher trophic levels. **Global Change Biology**, v. 8, n. 7, p. 668-678, 2002.

STILING, P.; CORNELISSEN, T. How does elevated carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) affect plant-herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO<sub>2</sub>-mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. **Global Change Biology**, v. 13, n. 9, p. 1823-1842, 2007.

STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.): Climate change 2013: summary for policymakers. Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 33 p.

THEURILLAT, P.; GUISSAN, A. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. **Climate Change**, v. 50, n. 1-2, p. 77-109, 2001.

TUCHMAN, N. C.; WETZEL, R. G.; RIER, S. T.; WAHTERA, K. A.; TEERI, J. A. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> lowers leaf litter nutritional quality for stream ecosystem food webs. **Global Change Biology**, v.8, p. 163-170, 2002.

VETELI, T. O.; KUOKKANEN, K.; JULKUNNEN, T. R. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on plant growth and herbivore defensive chemistry. **Global Change Biology**, v.8, p.1240-1252, 2002.

VUORINEN, T.; NERG, A. M.; IBRAHIM, M. A.; REDDY, G. V. P.; HOLOPAINEN, J. D. Emission on *Plutella xylostella*- Induced compounds from cabbages grown at elevated CO<sub>2</sub> and orientation behavior of the natural enemies. **Plant Physiology**, v.135, p.1984-1992, 2004.

YAO, S.; HUANG, Z.; REN, S.; MANDOUR, N.; ALI, S. Effects of temperature on development, survival, longevity, and fecundity of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 21, n. 1, p. 23-34, 2011.

VUORINEN, T.; NERG, A. M.; IBRAHIM, M. A.; REDDY, G. V. P.; HOLOPAINEN, J. D. Emission on *Plutella xylostella* - Induced compounds from cabbages grown at elevated CO<sub>2</sub> and orientation behavior of the natural enemies. **Plant Physiology**, v.135, p.1984-1992, 2004.

ZAMANI, A. A.; TALEBI, A.; FATHIPOUR, Y. Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, v. 36, n. 2, p. 263-271, 2007.