

PARTE IV

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E AGRICULTURA

*"O mundo não será destruído
por quem pratica o mal, mas por
quem o vigia sem fazer nada"*
Albert Einstein

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS

Kátia de Lima Nechet, Jeanne Scardini Marinho-Prado, Simone de Souza Prado, Eunice Reis Batista, Nilza Patrícia Ramos, Emília Hamada, Francislene Angelotti e Wagner Bettiol

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e suas consequências são um dos principais desafios a serem enfrentados pela humanidade. Os novos aspectos relacionados ao clima, como aumento de temperatura, aumento de gases de efeito estufa, eventos extremos, déficit hídrico, entre outros, afetam diferentemente todos os setores da sociedade, em todos os seus níveis, e a cada ano aumenta a vulnerabilidade do planeta às mudanças climáticas. O monitoramento dessas mudanças ao longo dos anos e os impactos observados e compilados em documentos de referência do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) antecipam os riscos a que estamos expostos e os futuros desafios que direcionam políticas de governo e estratégias para adaptação e mitigação desses efeitos (IPCC, 2021). A importância do tema se reflete em acordos internacionais, como o Acordo de Paris, realizado em 2016 e ratificado em 2020 por 189 países e a União Europeia, e no estabelecimento do enfrentamento às mudanças climáticas como um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU) (Nações Unidas, 2020).

A produção agrícola contribui para as mudanças no clima do planeta por conta da emissão de gases de efeito estufa. Por outro lado, a agricultura é afetada, nos seus diversos componentes e ciclos, pelas mudanças climáticas. O estudo da relação entre variáveis climáticas e a produção agrícola é fundamental para identificar a vulnerabilidade dos sistemas de produção e propor estratégias de adaptação, visando garantir a oferta de alimentos nas mais diversas condições ambientais (Wing et al., 2021). Além do efeito na fisiologia das plantas, as mudanças climáticas influenciam de forma direta ou indireta a incidência de pragas, doenças e organismos benéficos, alterando a interação entre eles. O impacto nos sistemas produtivos varia de acordo com as especificações dos hospedeiros, organismos e das condições locais (Anderson et al., 2020). O conhecimento dessas alterações, através de experimentos, é um desafio para a ciência e é fundamental para a mitigação da redução de danos por problemas fitossanitários.

Os aumentos da concentração de dióxido de carbono (CO₂), da temperatura e da radiação ultravioleta UV-B estão entre os principais parâmetros climáticos estudados que influenciam a ocorrência e severidade de doenças e pragas de culturas importantes nas condições tropicais (Ghini et al., 2012). Embora na natureza esses fatores ocorram simultaneamente, o estudo em condições controladas é realizado de forma individualizada para garantir o controle experimental exigido para comprovação da alteração ou não do efeito desses fatores sobre o organismo-alvo. O estudo dos parâmetros separadamente não invalida os resultados obtidos, mas é importante para direcionar estudos posteriores, visando refinar as respostas obtidas em longo prazo com os diversos fatores e direcionar tomadas de decisão baseadas nesse conjunto de resultados.

Um dos principais desafios nessas experimentações é a metodologia utilizada, que exige o desenvolvimento e a manutenção de uma instrumentação para simular o aumento desses parâmetros nas condições experimentais. Isto foi observado nos ensaios conduzidos na Embrapa Meio Ambiente com simulação de aumento de CO₂, baseados em rede de sensores sem fio, e nos ensaios de aumento de radiação UV-B estruturados em sistemas modulares e com interface de comunicação, cujo desafio foi primeiramente desenvolver instrumentação com material comercial para simulação em condições de campo. Para parâmetros como temperatura e déficit hídrico, a simulação experimental é facilitada por equipamentos já disponíveis e de pronto uso. Porém, em algumas situações, esses ensaios são restritos a condições controladas (Ghini et al., 2011).

A temática das mudanças climáticas e seus efeitos sobre doenças e pragas foi uma linha de pesquisa iniciada na Embrapa Meio Ambiente em 2002, cuja primeira publicação foi o livro *Mudanças climáticas globais e doenças de plantas* de Ghini (2005). Posteriormente, um segundo livro organizado por Ghini e Hamada (2008) apresentou uma discussão mais específica sobre o efeito das mudanças climáticas em doenças de culturas importantes para o país. Em 2009, o projeto Climapest, liderado pela Embrapa Meio Ambiente, foi iniciado. O Climapest contou com uma equipe multidisciplinar de 130 pesquisadores de diferentes instituições de pesquisa do país. Nesse projeto pioneiro, os efeitos dos parâmetros temperatura, CO₂ e radiação UV-B foram investigados em várias culturas de importância econômica para a agricultura brasileira, considerando diversos problemas fitossanitários para café, cana-de-açúcar, soja, videira e milho, bem como a diversidade dos biomas nacionais (Workshop de Mudanças Climáticas e Problemas Fitossanitários, 2012).

A partir do Climapest, outros projetos específicos foram executados, entre eles o Climapest-FACE que permitiu a continuação dos estudos com aumento de CO₂ em um experimento do tipo *free air carbon-dioxide enrichment* (FACE), o primeiro a ser instalado na América Latina e a estudar o impacto do aumento da concentração de CO₂ na cultura do café no mundo. O FACE instalado na Embrapa Meio Ambiente atendeu

a vários aspectos importantes, ainda não contemplados na literatura científica, em relação aos problemas fitossanitários e interações multitróficas, com informações geradas por experimento de longa duração (acima de três anos contínuos) e em bioma tropical (Ghini et al., 2015).

Os projetos Climafitos e Climafitos-2 também surgiram a partir do Climapest e permitiram a internacionalização da pesquisa voltada ao tema, assim como a avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre doenças e pragas em cultivos de importância para a agroindústria da Argentina e do Brasil. Outro desdobramento importante a partir do Climapest foi a participação do Brasil no documento *Scientific review of the impact of climate change on plant pests: a global challenge to prevent and mitigate plant-pest risks in agriculture, forestry and ecosystems* do International Plant Protection Convention (IPPC) (IPPC Secretariat, 2021), visando ao fortalecimento das ações para a proteção de plantas, contribuindo para o aprimoramento das bases científicas, permitindo o planejamento de políticas fitossanitárias e auxiliando os formuladores de políticas públicas voltadas para a segurança alimentar.

Nesse capítulo serão apresentados os principais resultados obtidos pelos projetos liderados pela Embrapa Meio Ambiente e pelas unidades parceiras, bem como outras instituições públicas e privadas, relacionados aos efeitos dos aumentos da concentração de CO₂, da temperatura e da radiação UV-B nos problemas fitossanitários.

DIÓXIDO DE CARBONO

A concentração atmosférica de CO₂ ([CO₂]) aumentou em torno de 40% desde 1750 (280 para 400 ppm), e na última década (2002–2011) registrou-se o aumento mais rápido para o período ($2,0 \pm 0,1$ ppm ano⁻¹), atingindo-se 410 ppm em junho de 2021 (IPCC, 2021). As emissões cumulativas de CO₂ determinam em grande parte o aquecimento global no final do século XXI com projeções de aumento em torno de 1,5 °C na temperatura do planeta, alterações climáticas consideradas irreversíveis (IPCC, 2018). Além de ser um dos principais gases de efeito estufa, o CO₂ também pode causar impactos diretos nos agroecossistemas. Ainda, por ser um nutriente para as plantas, várias culturas têm sua produção aumentada em condições de aumento de CO₂ (Jablonski et al., 2002).

Para estudos que confirmem essas respostas são necessárias estruturas que simulem o aumento da concentração de CO₂, como aquelas empregadas na rede Climapest, cujos experimentos adotaram câmaras de crescimento, estufas de topo aberto (*open-top chambers* – OTCs), estufas de topo aberto modificadas (OTCs modificadas) e experimentos com emissão de CO₂ a céu aberto (*free air carbon-dioxide enrichment* – FACE). Ao longo dos anos, avanços metodológicos propuseram equipamentos que permitem a realização de experimentos em condições naturais sem a limitação de manutenção das plantas em vasos, utilizando OTCs, OTCs modificadas e FACE (Torre-Neto; Ghini, 2011).

Em condições controladas, o uso de câmaras climáticas tipo Fitotron permite a simulação do aumento da $[CO_2]$, associado ao fotoperíodo, à umidade e à temperatura, simulando diferentes condições ambientais, inclusive a interação dos elementos climáticos (Figura 24.1). Este tipo de estrutura apresenta-se como uma importante ferramenta para estudos empíricos e tem contribuído para elucidar a influência da temperatura e de outros elementos climáticos no desenvolvimento de epidemias e de infestações (Araújo et al., 2019, Ferreira et al., 2013; Gullino et al., 2017). Para doenças de plantas, a interação aumento da $[CO_2]$ × temperatura, simulada em câmaras de crescimento, apontou redução na severidade do oídio do meloeiro e aumento do período de incubação do patógeno (Araújo et al., 2019).

Foto: Simone Souza Prado



Figura 24.1. Câmara climática tipo Fitotron instalada na Embrapa Meio Ambiente.

Para gramíneas forrageiras, Ferreira et al. (2013), verificaram que o aumento da $[CO_2]$ manterá o nível de suscetibilidade e resistência de diferentes espécies à *Mahanarva spectabilis* (cigarrinha-das-pastagens). Estudos em plantas de melão verificaram que essa condição prolonga a duração dos estágios imaturos de *Liriomyza sativae* (mosca minadora), não tendo impacto na sua viabilidade e na sobrevivência dos adultos (Santos et al., 2020). As alterações na $[CO_2]$ podem influenciar diferentes aspectos biológicos de insetos herbívoros, incluindo o tempo de desenvolvimento, sobrevivência, longevidade, fecundidade e, conseqüentemente, a dinâmica populacional (Auaq; Fonseca, 2017).

Alterações na fisiologia da planta hospedeira também afetam o comportamento de insetos herbívoros e predadores (Fonseca et al., 2014). Dorneles Junior e Prado (2015) observaram, em câmaras climáticas tipo Fitotron, que plantas de soja apresentaram maiores teores de assimilação líquida de CO_2 , de condutância estomática, eficiência do uso de água, área foliar, número de trifólios e de total de vagens (61% maior) quando submetidas ao aumento da $[CO_2]$ (800 ppm). Nessas condições, a soja acelerou seu ciclo fisiológico em 8%, alcançando mais rapidamente os estágios fenológicos na fase vegetativa e reprodutiva, e o desenvolvimento ninfal de *Euschistus heros* (percevejo-marrom) aumentou (Miranda et al., 2015; Dorneles Junior, 2017). Os insetos levaram mais tempo para atingir a maturidade e o peso de machos e fêmeas acasaladas foi maior; no entanto a produção de ovos, a longevidade e a taxa de aumento da população foram reduzidas (Dorneles Junior et al., 2015a; Dorneles Junior et al., 2015b). Em ambos os tratamentos foi observada uma baixa infectividade natural dos insetos com o simbionte primário de *E. heros* e a proporção de insetos positivos foi maior no ambiente com aumento de $[CO_2]$ (Costa et al., 2018; Prado, 2012).

As estufas de topo aberto foram desenvolvidas para avaliar o impacto do aumento da $[CO_2]$ sobre problemas fitossanitários, permitindo o plantio direto no solo e o acompanhamento de todos os estágios de desenvolvimento das plantas com menor interferência de artefatos. As OTCs tradicionais foram criadas originalmente em países de clima temperado. No entanto, com sua utilização em experimentos em regiões tropicais foram observadas temperaturas e umidades maiores no seu interior que as do ambiente, o que pode ocasionar alterações no comportamento das plantas e dos problemas fitossanitários. Lessin e Ghini (2009), em experimento realizado em Jaguariúna, SP, concluíram que o plástico das OTCs pode interferir na radiação solar e na temperatura no interior das parcelas.

Por esse motivo, no projeto Climapest, um novo modelo foi desenvolvido, denominado de OTCs modificadas, que permitem avaliar os impactos do aumento da concentração de CO_2 sem comprometer as demais variáveis do microclima em seu interior e permitir a realização dos ensaios em regiões de clima quente. No projeto

Climapest foram construídas seis instalações com estufas de topo aberto adaptadas, montadas nas principais regiões produtoras do País: Vacaria, RS (Embrapa Uva e Vinho), Londrina, PR (Embrapa Soja), Sete Lagoas, MG (Embrapa Milho e Sorgo), Petrolina, PE (Embrapa Semiárido), Belém, PA (Embrapa Amazônia Oriental), e Jaguariúna, SP (Embrapa Meio Ambiente) (Figura 24.2).

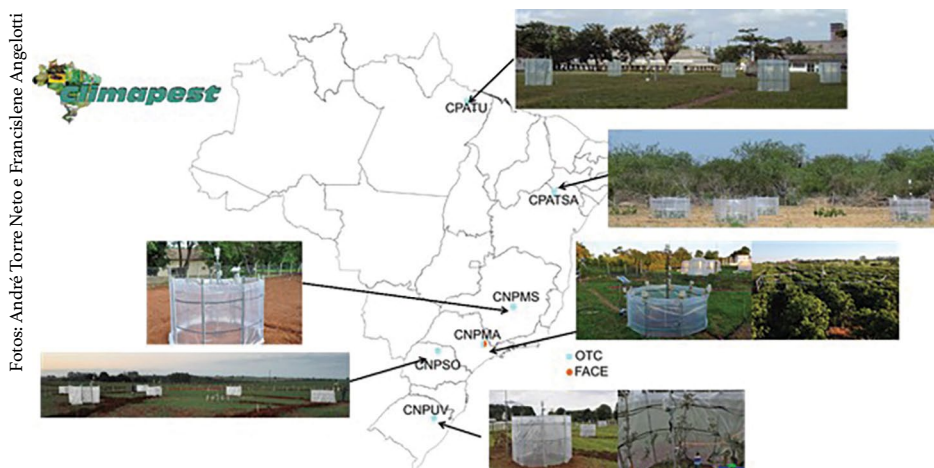


Figura 24.2. Localização das seis instalações com estufas de topo aberto modificadas, montadas nas principais regiões produtoras do país: Embrapa Uva e Vinho, em Vacaria, RS, Embrapa Soja, em Londrina, PR, Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE), Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA e Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, SP).

Os estudos em OTCs e OTCs modificadas apontaram que as respostas frente ao aumento da $[CO_2]$ variaram entre os diferentes patossistemas (Tabela 24.1). No caso das ferrugens do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) (Tozzi, Ghini, 2016), do eucalipto (*Puccinia psidii*) (Ghini et al., 2015) e da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) (Lessin; Ghini, 2011) ocorreu redução dessas ferrugens com o aumento da $[CO_2]$. Em contrapartida, esse ambiente promoveu aumento na severidade da ferrugem da alfafa (*Uromyces striatus*) (Santos, 2015) e da ferrugem da videira (*Phakopsora euvtitis*) (Fernandes et al., 2012).

A especificidade da resposta de diferentes cultivares de plantas ao aumento da $[CO_2]$ foi observada para o arroz (Gória et al., 2013), o cafeeiro (Tozzi; Ghini, 2016) e a videira (Angelotti, 2011). Isso reforça a importância de estudos que considerem as especificidades de cada patossistema, levando em consideração a variabilidade genética das cultivares, uma vez que a ocorrência de doenças em plantas é um processo complexo.

Além da avaliação do impacto sobre a ocorrência de doenças de plantas, nas OTCs modificadas foram avaliados os impactos na comunidade de nematoides de vida livre em amostras de solo. Castro et al. (2011) observaram aumento populacional com o aumento da [CO₂]. Este resultado confirma a complexidade destes estudos, uma vez que alterações no solo, como a decomposição de matéria orgânica e outras atividades, causam impacto na simbiose dos microrganismos do solo.

Tabela 24.1. Resultados de estudos conduzidos em diferentes estruturas utilizadas para simular o impacto do aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono ([CO₂]) em problemas fitossanitários, obtidos a partir da rede Climapest.

Hospedeiro	Problema fitossanitário	Estrutura utilizada para simular o aumento da [CO ₂]	Efeito observado do aumento da [CO ₂]	Referência
Alfafa (<i>Medicago sativa</i>)	<i>Uromyces striatus</i> (ferrugem)	Estufa de topo aberto modificada	Aumento da severidade e crescimento das plantas	Santos e Ghini, (2014), Santos (2015)
	<i>Fusarium oxysporum</i> (murcha de Fusarium)	Estufa de topo aberto modificada	Redução na severidade	Santos (2015)
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	<i>Magnaporthe oryzae</i> (brusone)	Estufa de topo aberto	Aumento da severidade	Gória et al. (2014)
	<i>Pyricularia grisea</i> (brusone)	Estufa de topo aberto	Não alterou a incidência de fungos em sementes de arroz	Gória et al. (2012)
Café (<i>Coffea arabica</i>)	<i>Hemileia vastatrix</i> (ferrugem)	Estufa de topo aberto	Redução na severidade	Tozzi e Ghini (2016)
	<i>Cylindrocladium candelabrum</i> (mancha foliar)	Estufa de topo aberto	Redução na incidência e severidade	Silva e Ghini (2014), Ghini et al. (2015)
Eucalipto (<i>Eucalyptus</i> sp.)	<i>Puccinia psidii</i> (ferrugem)	Estufa de topo aberto	Redução na severidade e maior crescimento das plantas	Ghini et al. (2014), (2015)
	<i>Ceratocystis fimbriata</i> (murcha-de-Ceratocystis)	Estufa de topo aberto	Redução na severidade e maior crescimento das plantas	Santos et al. (2013), Ghini et al. (2015)

Continua...

Tabela 24.1. Continuação

Hospedeiro	Problema fitossanitário	Estrutura utilizada para simular o aumento da [CO ₂]	Efeito observado do aumento da [CO ₂]	Referência
Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	<i>Oidium</i> sp. (oídio)	Estufa de topo aberto modificada	Redução na severidade	Santana et al. (2012)
FORAGEIRAS (<i>Brachiaria</i> sp., <i>Pennisetum purpureum</i>)	<i>Mahanarva spectabilis</i> (cigarrinhas-pastagens)	Câmara de crescimento	Alteração no acúmulo de massa seca e não interferência na longevidade dos adultos	Ferreira et al. (2013)
Melão (<i>Cucumis melo</i>)	<i>Oidium</i> sp. (oídio)	Câmara de crescimento	Redução na severidade e aumento do período de incubação	Araujo et al. (2019)
	<i>Liriomyza sativae</i> (mosca-minadora)	Câmara de crescimento	Prolongamento da duração dos estágios imaturos	Santos et al., (2020)
Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Microsphaera diffusa</i> (oídio)	Estufa de topo aberto	Aumento na severidade	Lessin e Ghini (2009)
	<i>Phakopsora pachyrhizi</i> (ferrugem)	Estufa de topo aberto	Redução na severidade	Lessin e Ghini (2011)
Videira (<i>Vitis vinifera</i>)	<i>Phakopsora euvtis</i> (ferrugem)	Estufa de topo aberto modificada	Aumento na severidade	Fernandes et al. (2012)
	<i>Plasmodium viticola</i> (míldio)	Estufa de topo aberto modificada	Não alterou a severidade	Pinheiro et al. (2012)
	<i>Oidium tuckeri</i> (oídio)	Estufa de topo aberto modificada	Aumento na severidade	Rodrigues et al (2012)
	<i>Xanthomonas campestris pv. viticola</i> (cancro bacteriano)	Câmara de crescimento	Resposta diferenciada entre as cultivares com redução da severidade	Conceição et al. (2017)

Experimentos do tipo FACE, que permitem a emissão de CO₂ a céu aberto, são considerados ideais, pois permitem eliminar artefatos e obter respostas em agroecossistemas ou sistemas naturais intactos. O principal fator limitante da utilização de experimentos FACE é o alto custo devido à sofisticada instrumentação e ao elevado consumo de CO₂, na ordem de aproximadamente 1 t dia⁻¹.

O Climapest-FACE foi instalado em área de aproximadamente 7 ha na Embrapa Meio Ambiente, em latossolo vermelho-amarelo de textura média. Doze anéis com 10 m de diâmetro foram construídos, espaçados por pelo menos 70 m, para evitar contaminação entre as parcelas (Figura 24.3A). A área total foi plantada com café Catuaí Vermelho IAC-144 e, após um ano, mudas de Catuaí Vermelho IAC-144 e da cultivar

Obatã foram plantadas dentro dos anéis (Figura 24.3B). Após três anos do início do experimento, a cultivar Obatã foi eliminada da área em função do reduzido espaço disponível para ambas as cultivares (Figura 24.3C). Em comparação com os projetos similares existentes, a implementação desenvolvida pela Embrapa Instrumentação no Climapest-FACE da Embrapa Meio Ambiente inovou com a utilização de instrumentação baseada em rede de sensores sem fio no padrão ZigBee e uso de baterias alimentadas por energia solar, que permitiram que as mudanças de concentração de CO₂ influenciadas pelo vento fossem rapidamente acompanhadas e sem atraso significativo (Figuras 24.3D, 24.3.E e 24.3F) (Torre-Neto; Ghini, 2011; Torre-Neto et al., 2011).

O experimento foi conduzido de forma intermitente no período de agosto de 2011 a junho de 2016. A liberação de CO₂ ocorreu até atingir a concentração de 200 ppm acima da concentração do ambiente no centro de seis anéis, enquanto os demais seis anéis testemunhas mantiveram a concentração ambiental de CO₂ registrada no momento. A performance do Climapest-FACE, de 2011 a 2015, variou de 44 a 60%, expressa pela frequência de valores em torno da concentração alvo ($550 \pm 100 \mu\text{mol mol}^{-1}$), e teve influência do período do ano (Apêndice A).

Fotos: Raquel Ghimi (A,B); Kátia de Lima Nechet (C, D, E, F)

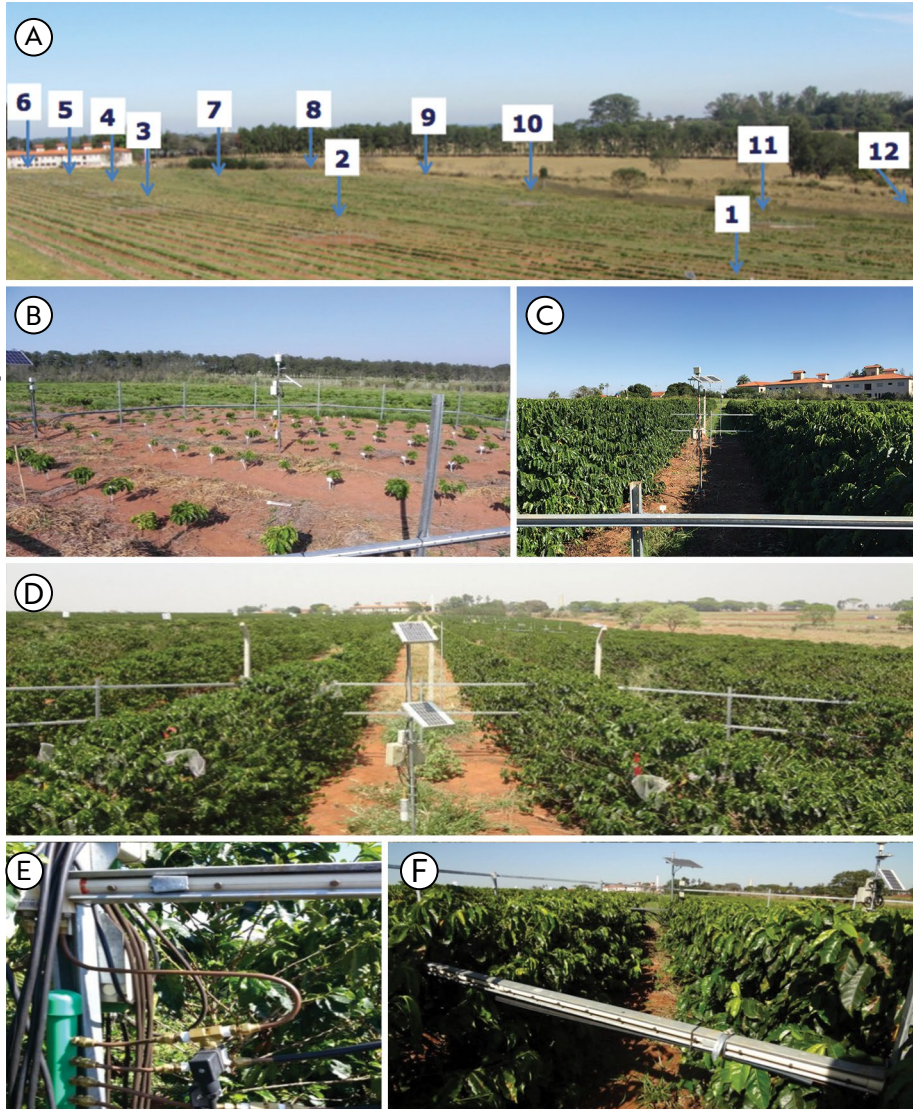


Figura 24.3. Experimento Climapest-FACE instalado em uma área de 7 ha de café na Embrapa Meio Ambiente: vista geral mostrando a distribuição dos doze anéis (A); parcela em 2011, com linhas de plantio das cultivares Catuaí IAC-144 e Obatã (B); parcela em 2015 com linhas de plantio apenas da cultivar Catuaí IAC-144 (C); parcela experimental mostrando o painel solar no centro do anel (D); dispositivos para controle de fluxo e fumigação de CO_2 (E); barras de injeção de CO_2 do anel (F).

Os principais resultados obtidos no Climapest-FACE foram relacionados à fisiologia, morfologia, fitossanidade e interações multitróficas considerando diferentes períodos, cultivares e estádios fenológicos do cafeeiro (Tabela 24.2).

As plantas respondem diretamente ao aumento da $[CO_2]$ pela elevação das taxas líquidas de fotossíntese (A) e frequentemente pela redução na condutância estomática (g_s) (Long et al., 2006). O aumento dos valores de A sob condições de aumento da $[CO_2]$ nas plantas de fotossíntese C_3 está associado ao estímulo da taxa de carboxilação e de redução da oxigenação da enzima RuBisCO e, conseqüentemente, à diminuição da fotorrespiração (Ainswort; Rogers, 2007). A fotossíntese do cafeeiro é intrinsecamente baixa sob as condições atmosféricas de CO_2 atuais em função de limitações impostas à difusão do CO_2 da atmosfera até o sítio de carboxilação no cloroplasto. Pela mesma razão, os valores de g_s também são baixos, portanto, espera-se que o cafeeiro seja altamente beneficiado pelo aumento da $[CO_2]$ na ausência de restrições hídricas e de imposição ao crescimento das raízes (DaMatta et al., 2019).

De fato, o que foi observado ao longo de cinco anos do experimento Climapest-FACE é que os valores de A tendem a ser maiores sob aumento da $[CO_2]$, porém nem sempre foram significativamente maiores que os valores medidos da $[CO_2]$ do ambiente, desde a fase jovem até a fase adulta dos cafeeiros (Ghini et al., 2015; DaMatta et al., 2016; Rakocevic et al., 2018; 2020; 2021). Nos dois primeiros anos do Climapest-FACE foi observado que as cultivares de café Catuaí e Obatã desenvolvidas em condições de aumento da $[CO_2]$ mantiveram as taxas fotossintéticas e a eficiência no uso da água relativamente altas, sendo que houve aumento do crescimento (avaliado durante outubro de 2011 e janeiro de 2014) e produtividade das plantas. As produtividades das cultivares Catuaí e Obatã aumentaram em 14,6% e 12,0%, respectivamente, na colheita realizada entre julho e agosto de 2013. Também foi observado que o conteúdo de nitrogênio foliar foi 5,2% menor na cultivar Obatã, enquanto não foi observado efeito na cultivar Catuaí. Em avaliações realizadas nos anos de 2014 e 2015, Iost (2017) observou que a altura das plantas e o diâmetro do caule foram maiores nas plantas desenvolvidas em ambiente com aumento da $[CO_2]$.

As medições relacionadas à fotossíntese, realizadas no quarto e no quinto ano de cultivo da cultivar Catuaí IAC-144, em diferentes estratos horizontais das copas dos cafeeiros, épocas climáticas e fenológicas, possibilitaram verificar maior frequência de maiores valores de A sob aumento da $[CO_2]$, bem como maiores valores, ou mais frequentemente, nenhuma alteração dos valores de g_s em comparação com a $[CO_2]$ do ambiente, especialmente nos estratos superiores, mais iluminados (Rakocevic et al, 2020; 2021). Como resultado dos frequentes aumentos das taxas de A , associados a poucas alterações nos valores de g_s , a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) foi frequentemente mais alta sob aumento da $[CO_2]$ especialmente nas épocas secas, quando os valores de g_s costumam ser reduzidos em resposta às baixas temperaturas

e restrição hídrica no solo. Consequentemente, os valores de eficiência intrínseca do uso da água (iWUE) foram maiores nos cafeeiros adultos cultivados sob aumento da $[CO_2]$, resultando em menor depleção de água do solo e proporcionando melhor status hídrico dos cafeeiros, o que também pode ser verificado pela ocorrência frequente de altos valores de g_s e de transpiração nas épocas secas (Rakocevic et al, 2018; 2020; 2021). Não houve aclimação ou retrorregulação da fotossíntese dos cafeeiros em resposta ao aumento da $[CO_2]$ em nenhum dos estádios de desenvolvimento ao longo dos cinco anos do experimento Climapest-FACE (DaMatta et al., 2016; Rakocevic et al., 2021).

Além das alterações nas taxas de trocas gasosas, a exposição dos cafeeiros ao aumento da $[CO_2]$, avaliada no quarto e quinto ano de tratamento, possibilitou verificar modificações estruturais, tais como redução drástica da área foliar e do diâmetro de ramos plagiotrópicos de segunda ordem e maiores investimentos em ramos de terceira e quinta ordens, além de grandes investimentos em estruturas reprodutivas no terceiro e quarto estrato do perfil vertical, os quais apresentaram maiores quantidades de frutos. Adicionalmente, foi verificada alta capacidade de adaptação das folhas à variação de radiação solar ao longo do perfil vertical, bem como aclimação das folhas a temperaturas elevadas, especialmente aquelas localizadas nos estratos superiores. Tais modificações sugerem que os cafeeiros expostos ao aumento da $[CO_2]$, no longo prazo, desenvolvem modificações morfofuncionais capazes de compensar perdas de área foliar através da realocação de fotoassimilados da parte aérea para as raízes, de forma a proporcionar melhor aproveitamento da água e adaptabilidade às altas temperaturas e luminosidade, mantendo altas taxas fotossintéticas (Rakocevic et al., 2018; 2020; 2021).

Além de modificações morfofuncionais, as plantas cultivadas sob aumento da $[CO_2]$ podem sofrer alterações químicas, especialmente nas concentrações de compostos secundários que possam interferir na resistência às doenças ou na interação com pragas. Parte do carbono assimilado em consequência de maiores taxas fotossintéticas sob aumento da $[CO_2]$ é direcionada à síntese de compostos fenólicos, os quais são fundamentais na adaptação a modificações ambientais e na coevolução com pragas e doenças (Campa et al., 2012). Sabe-se que a atividade de alguns patógenos é interrompida ou controlada quando grandes quantidades de compostos fenólicos são produzidas em folhas de cafeeiros resistentes ao bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*) (Magalhães et al., 2010) e à ferrugem do cafeeiro causada pelo fungo *H. vastatrix* (Silva et al., 2006).

Batista et al. (2021) verificaram na cultivar Catuaí IAC-144 que o cultivo sob aumento da $[CO_2]$ reduziu a concentração de ácido clorogênico (5-CQA), que é o principal fenólico constituinte das folhas de cafeeiros, importante tanto na determinação da qualidade dos frutos e da bebida, quanto no controle da germinação das sementes e

do crescimento celular através da regulação do hormônio indol-acético. Poucos efeitos do aumento da $[CO_2]$ foram encontrados nos teores fenólicos de folhas de cafeeiros cultivados no Climapest-FACE; por outro lado, efeitos significativos da sazonalidade climática foram detectados, indicando baixas concentrações de fenólicos foliares nas épocas secas e altas concentrações em épocas chuvosas. As restrições difusivas impostas à assimilação de carbono no mesófilo foliar, reduzindo a disponibilidade de carbono para a produção de compostos secundários, especialmente nas épocas secas, ajudam a explicar a redução de ácido clorogênico observada nesses períodos. Adicionalmente, não foram verificados efeitos do aumento da $[CO_2]$ na abundância e diversidade de ácaros nas folhas de cafeeiros, porém a variação climática sazonal influenciou de maneira significativa a diversidade de ácaros, resultando em maior diversidade na época seca.

Os principais problemas fitossanitários do café e interações multitróficas foram avaliados no Climapest-FACE (Tabela 24.2). Em relação à incidência da ferrugem e à mancha-de-Cercospora, causada por *Cercospora coffeicola*, não foram observados efeitos do aumento da $[CO_2]$ para ambas as cultivares (Ghini et al., 2015). Entretanto, é importante considerar que as condições climáticas (alta temperatura e seca) durante os dois anos não foram favoráveis à ocorrência das doenças e, além disso, foram realizadas as aplicações recomendadas de fungicidas ao longo do ciclo da cultura, conforme ocorre nos cultivos comerciais. Em avaliações realizadas nos anos de 2014 e 2015 na cultivar Catuaí IAC-144, Iost (2017) também não observou efeito do aumento da $[CO_2]$ sobre a ferrugem do cafeeiro. O micoparasitismo da ferrugem também não teve influência do aumento da $[CO_2]$.

Abreu et al. (2015) monitoraram isolados endofíticos de *Colletotrichum* sp. obtidos de folhas do cafeeiro (não patogênicos) no Climapest-FACE. Os autores observaram que não houve efeito do aumento da $[CO_2]$ no número desses isolados, independentemente da cultivar avaliada (Catuaí e Obatã). A matriz de similaridade, baseada em características morfológicas dos isolados, permitiu agrupá-los em função da cultivar e não do aumento da $[CO_2]$. O maior número de isolados foi obtido no inverno (julho) indicando que a época de coleta, junto com a cultivar, influenciaram esse monitoramento. Ferreira (2017), em outro estudo mais amplo, baseado no sequenciamento genômico da comunidade de microrganismos endofíticos obtidos de ramos e frutos, observou maior diversidade da microbiota endofítica do cafeeiro mantido em condições de aumento da $[CO_2]$. Houve predominância de bactérias do filo Proteobacteria, distribuídas nas classes Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria e Gammaproteobacteria, e os demais filos encontrados foram Actinobacteria e Firmicutes.

A incidência do bicho-mineiro, uma das pragas mais importantes do cafeeiro, apresentou redução quando avaliada em aumento da $[CO_2]$ (Ghini et al., 2015; Iost, 2017). Entretanto, a ação de inimigos naturais do bicho-mineiro, avaliada através da

recuperação de parasitoides emergidos de minas foliares e da análise de minas pre-dadas, não apresentou alteração em condição de maior concentração de CO₂ (Pires et al., 2014a; Ghini et al., 2015), sendo *Proacrias coffeae* a espécie de parasitoide predominante em ambos os tratamentos (Pires et al., 2014a). Dos insetos-praga que atacam os frutos, não houve infestação de brocas durante o período de avaliação (2012 a 2016). Os frutos, entretanto, apresentaram alta infestação por moscas-das-frutas da espécie *Ceratitits capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) em condições de aumento da [CO₂] e [CO₂] ambiente (Pires et al., 2014b). A quantidade de parasitoides emergidos dos frutos infestados por moscas-das-frutas também não sofreu alteração, considerando a análise de todos os anos de coleta. É importante observar que os insetos avaliados no Climapest-FACE não estavam confinados nos tratamentos, sendo possível a dispersão de insetos voadores entre áreas com aumento da [CO₂] e com [CO₂] ambiente, caracterizando, em certo ponto, uma avaliação da escolha desses indivíduos em relação aos tratamentos.

O complexo de cigarrinhas (Hemiptera: Cicadellidae), associado à cultura do café, que transmite a bactéria *Xylella fastidiosa* e causa a doença conhecida como atrofia dos ramos do cafeeiro (ARC) e seu simbionte primário – “Candidatus Sulcia muel-leri” –, foi estudado por dois anos no Climapest-FACE. Ao todo foram capturados 9.446 espécimes de cigarrinhas da família Cicadellidae pertencentes a 10 espécies, sendo 4.980 no tratamento com aumento de CO₂ e 4.466 no tratamento controle. Utilizando *primers* específicos para detecção de *X. fastidiosa* e do simbionte observou-se que a porcentagem de cigarrinhas positivas para *X. fastidiosa* foi extremamente baixa em comparação com a detecção do simbionte e não houve efeito do aumento da [CO₂] nessa interação multitrófica (Prado et al., 2012; Dorneles Junior et al., 2016).

A determinação da incidência e diversidade de plantas daninhas no sistema de produção de café integrado com braquiária também foi realizada no Climapest-FACE, usando tanto a avaliação direta da frequência de plantas em campo como do banco de sementes remanescentes na área. Verificou-se, após quatro anos de tratamento contínuo, maior incidência de espécies C₄ (64% para avaliação de plantas e 63% para banco de sementes) em relação à C₃ (28% para plantas e 29% para banco de sementes) e não identificadas (8%) (Figura 24.4). Cabe destacar que as espécies de plantas encontradas foram, para C₃: a) *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola); b) *Bidens pilosa* (picão preto); c) *Eupatorium* sp. (mata-pasto); d) *Emilia sonchifolia* (falsa serralha); e) *Cleome affinis* (mussambê); f) *Phyllanthus tenellus* (quebra pedra). E para C₄: a) *Brachiaria* spp. (braquiária); b) *Commelina benghalensis* (traçoeraba); c) *Amaranthus retroflexus* (caruru); d) *Digitaria* spp. (digitária); e) *Rhynchelytrum repens* (capim favorito); f) *Chamaesyce hyssopifolia* (erva-de-santa-luzia); g) *Sida* spp. (guanxuma); h) *Portulaca oleracea* (beldroega); i) *Cenchrus* spp. (carrapicho); j) *Cyperus rotundus* (tiritica); e k) *Richardia brasiliensis* (poaia branca).

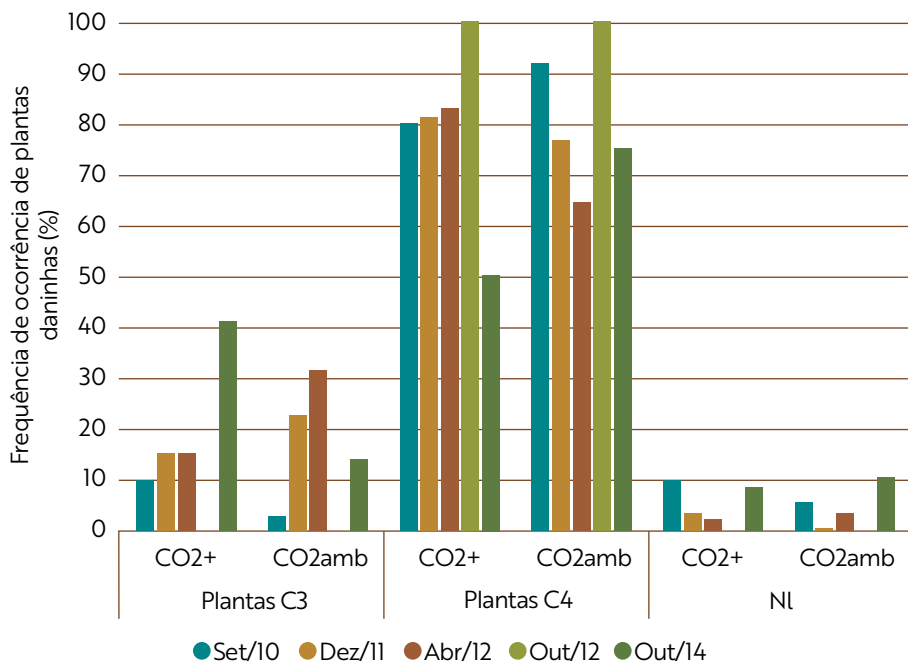


Figura 24.4. Frequência (%) de ocorrência de plantas daninhas C3, C4 e não identificadas (NI), submetidas ao ambiente com aumento da $[CO_2]$ (CO_2+) e ambiente com $[CO_2]$ atual (CO_{2amb}) por um período de quatro anos de produção em campo de café integrado com braquiária no Climapest-FACE em Jaguariúna, SP.

No levantamento das plantas em campo, considerando o aumento ou não da $[CO_2]$ propriamente dito, verificou-se que a frequência de espécies C3 (Figura 24.5A) foi significativamente maior em condições de aumento da $[CO_2]$ (41%) em relação ao ambiente controle (14%), favorecida pelo aumento do picão preto (*B. pilosa*), enquanto para C4 (Figura 24.5B) o resultado se inverte, sendo maior a frequência no ambiente controle (75%) em relação ao ambiente com aumento $[CO_2]$ (52%), com dominância da braquiária (*Brachiaria* spp.).

Comparando os resultados das avaliações do banco de sementes realizadas antes do início da injeção do CO_2 (agosto de 2010) e após três anos de injeção contínua de CO_2 contínuo (outubro de 2014) confirmou-se o predomínio das plantas C4 em relação às C3, como já verificado para as avaliações de campo. Não houve diferenças significativas entre o aumento de $[CO_2]$ e o ambiente natural, tanto para espécies C3 (Figura 24.5C), como C4 (Figura 24.5D). Entretanto, mesmo que a frequência não tenha se alterado estatisticamente, foi possível perceber mudanças nas espécies, com

aumento na prevalência de picão preto, em áreas com aumento da $[CO_2]$, reforçando as informações de aumento desta espécie nas análises em campo. Para as espécies C4 (Figura 24.5D), houve redução tímida da braquiária com domínio no banco de outras espécies.

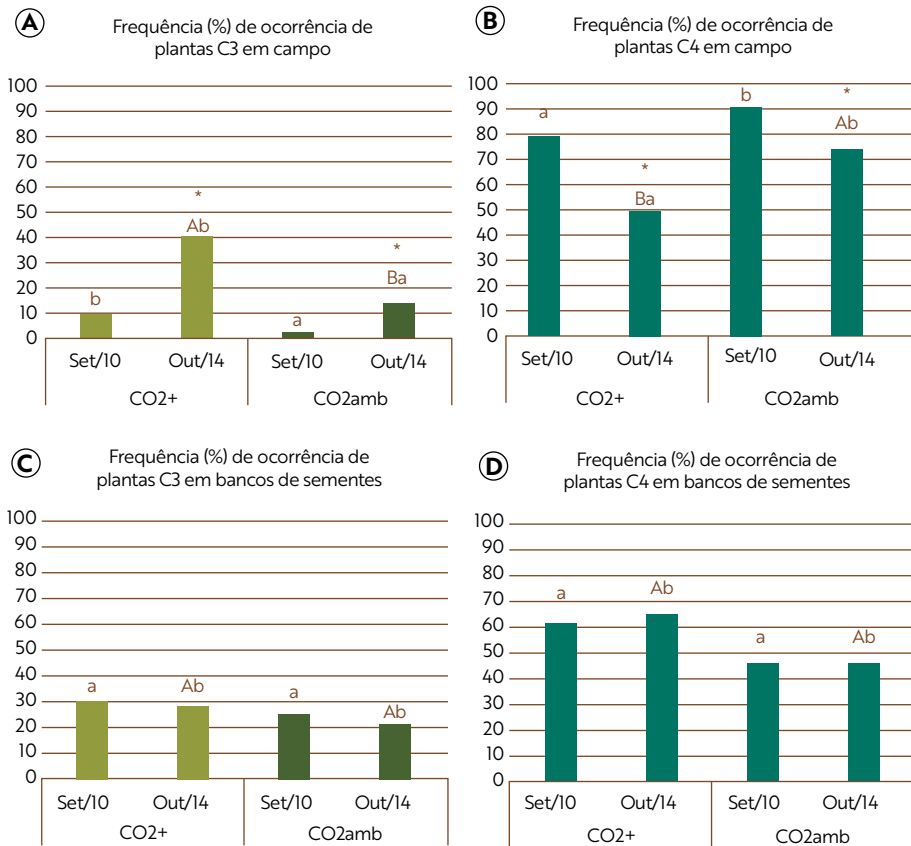


Figura 24.5. Frequência (%) de ocorrência de plantas daninhas C3 (A) e (C); e C4 (B) e (D) em campo e em banco de sementes, respectivamente, avaliadas na instalação do experimento Climapest-FACE (setembro de 2010) e após quatro anos de injeção contínua de CO₂ (outubro de 2014) nos tratamentos de aumento da $[CO_2]$ (CO₂+) e de ambiente com $[CO_2]$ atual (CO₂amb.) para a produção de café integrado com braquiária. Médias com mesma letra minúscula não diferem entre si entre os períodos de avaliação dentro do mesmo tratamento e com mesma letra maiúscula não diferem entre os tratamentos em outubro de 2014. Médias com asterisco diferem entre si considerando os tratamentos em outubro de 2014.

As alterações na frequência e nas espécies já são indicativos de que as mudanças nas concentrações de CO₂ merecem atenção para possíveis necessidades de alterações no controle de plantas daninhas. Podem ocorrer mudança nas estratégias de uso de agroquímicos, com mudanças de moléculas, e dos períodos de aplicação, que podem ser encurtados ou ampliados em função de uma possível mudança no ciclo de ação das plantas nessas novas condições. Vale ressaltar que não foram feitas simulações de mudanças de temperatura, que são as possíveis consequências do aumento da [CO₂] em campo, o que poderia alterar os resultados obtidos neste estudo.

Em função da importância mundial do café, tanto econômica quanto social, e dos riscos sobre sua produção associados às mudanças climáticas, o Climapest-FACE gerou informações inéditas sobre os efeitos do aumento da [CO₂] sobre a cultura e os problemas fitossanitários. O conhecimento obtido, não só com a cultura do café, mas com várias culturas de importância econômica, subsidia a adoção de estratégias de manejo integrado de problemas fitossanitários em ambientes agrícolas projetados em cenários de mudanças climáticas com aumento da [CO₂].

Tabela 24.2. Resultados de estudos conduzidos no Climapest-FACE considerando parâmetros relacionados à fisiologia, morfologia, problemas fitossanitários e interações multitróficas no cafeeiro em diferentes cultivares e períodos de avaliação.

Parâmetro avaliado	Cultivar	Período de avaliação	Efeito do aumento da concentração de CO ₂	Referências
Fotossíntese	Catuai	2011–2014	Aumento da taxa fotossintética e da eficiência do uso da água	Ghini et al. (2015)
	Obatã	2011–2013		
	Catuai	2014–2015	Aumento da taxa líquida da fotossíntese associada a poucas alterações na condutância estomática Aumento da eficiência do uso da água especialmente na época seca	Rakocevic et al. (2018; 2020; 2021)
	Catuai/Obatã	2011–2015	Não houve efeito na aclimação ou retrorregulação da fotossíntese	DaMatta et al. (2016); Rakocevic et al. (2021)
Crescimento/ desenvolvimento	Catuai	2011–2014	Aumento do crescimento das plantas e da produtividade em 14,6% em Catuai e 12,0% em Obatã	Ghini et al. (2015)
	Obatã	2011–2013		
	Catuai	2014–2015	Aumento do diâmetro e altura das plantas	Iost (2017)
	Catuai	2014–2016	Redução da área foliar e do diâmetro de ramos plagiotrópicos de segunda ordem Aumento em ramos de terceira e quinta ordens; de estruturas reprodutivas no terceiro e quarto estratos e da capacidade de adaptação das folhas à variação de radiação solar	Rakocevic et al. (2018; 2020; 2021)

Continua...

Tabela 24.2. Continuação.

Parâmetro avaliado	Cultivar	Período de avaliação	Efeito do aumento da concentração de CO ₂	Referências
Alterações químicas	Catuai	2012–2014	Redução da concentração de ácido clorogênico; sem alteração nos teores fenólicos	Batista et al. (2021)
Ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i>)	Catuai	2011–2014	Não houve efeito na incidência da ferrugem	Ghini et al. (2015)
	Obatã	2011–2013		
	Catuai	2014–2015	Não houve efeito na incidência da ferrugem	Iost (2017)
Microrganismos endofíticos	Catuai/Obatã	2012–2014	Sem alteração nos isolados endofíticos de <i>Colletotrichum</i> sp.	Abreu et al. (2015)
	Catuai	2013–2015	Aumento da diversidade da microbiota e predominância de proteobactérias	Ferreira (2017)
Mancha-de-cercospora (<i>Cercospora coffeicola</i>)	Catuai	2011–2013	Não houve efeito na incidência da mancha-de-cercospora	Ghini et al. (2015)
	Obatã	2011–2013		
Bicho-mineiro (<i>Leucoptera coffeella</i>)	Catuai	2011–2015	Redução na incidência de bicho-mineiro (2011–2013; 2013–2015)	Ghini et al. (2015); Iost (2017).
	Obatã	2011–2013		
Parasitoides de larvas de <i>L. coffeella</i>	Catuai	2012–2015	Não houve alteração da quantidade e nem da análise ecológica dos parasitoides (2012 e 2013)	Ghini et al. (2015); Pires et al. (2014a)
	Obatã	2012–2014		
Predação de minas de <i>L. coffeella</i>	Catuai	2013–2015	Não houve alteração da porcentagem de minas predadas (2013)	Ghini et al. (2015)
	Obatã	2013–2014		
Moscas-das-frutas (<i>Ceratitis capitata</i>)	Catuai	2014–2016	Não houve alteração do número de frutos infestados (2014)	Pires et al. (2014b)
Parasitoides de <i>C. capitata</i>	Catuai	2014–2016	Não houve alteração da quantidade de frutos parasitados	Dados não publicados
Acaros	Catuai	2012–2016	Não houve alteração da quantidade total e nem do número de espécies (2012–2016)	Batista et al. (2021)
	Obatã	2012–2014	Não houve alteração da quantidade total e nem do número de espécies (2012–2014)	
Cigarrinha (Cicadellidae)	Catuai/Obatã	2013–2015	Não houve efeito na interação com simbionte primário – “ <i>Candidatus Sulcia muelleri</i> ”	Prado et al. (2012); Dorneles Junior et al. (2016)
Plantas daninhas	-	2010–2015	Maior incidência de C4 em relação à C3 Maior frequência C3 (<i>Bidens pilosa</i>)	Dados não publicados

RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA B

A camada de ozônio funciona como um importante e indispensável filtro da radiação solar, principalmente à radiação UV (Godin-Beekmann, 2010). Os comprimentos de onda na faixa de 100 nm a 400 nm constituem a região espectral da radiação UV, dividida em três faixas: radiação UV-A (315 a 400 nm), que é levemente filtrada pela camada de ozônio e atinge a superfície terrestre (Paul, 2000); radiação UV-B (290 a 315 nm), que é filtrada pela camada de ozônio; e radiação UV-C (100 a 280 nm), que é absorvida por outros gases, incluindo o ozônio (Madronich et al., 1995; Paul, 2000). Assim, dos três tipos de radiação, a radiação UV-B é a que apresenta maior risco: por conta da redução da camada de ozônio, tem alta incidência em algumas regiões da Terra, causando sérios prejuízos à saúde pública (Jones, 1992).

Há uma estimativa de 15 a 20% de aumento na incidência da radiação UV-B durante o século XXI (Watanabe et al., 2011) e existe uma grande variabilidade na radiação UV-B devida a outros fatores, além do ozônio, como nuvens, aerossóis e outros poluentes, bem como latitude, altitude e época do ano (Bilbao et al., 2014; Fioletov et al., 2002). A radiação UV-B é absorvida diretamente pelos ácidos nucleicos, lipídeos e proteínas, o que leva a modificações nas macromoléculas, entre elas no DNA. Muitos estudos demonstraram os efeitos do aumento da radiação UV-B em diferentes ecossistemas e organismos (Unep, 2015; Chakraborty; Newton, 2011). A radiação UV pode agir direta e indiretamente sobre as doenças de plantas, por causar danos às estruturas tanto dos fitopatógenos quanto dos agentes de biocontrole, tais como induzir mudanças na fisiologia das plantas (Kunz et al., 2006; Paul, 2000; Manning; Tiedeman, 1995).

As respostas à radiação UV-B são dependentes do patossistema e a maioria dos resultados é obtida em condições controladas, importantes para verificar efeitos pontuais, mas que podem superestimar essas respostas, uma vez que as plantas e os microrganismos são expostos a uma dose alta e constante durante toda a experimentação (Caldwell; Flint, 1994). Na Embrapa Meio Ambiente, estudos que simularam o aumento da radiação UV-B foram conduzidos tanto em condições controladas como em condições de campo (Figuras 24.6A e 24.6B). Nessas condições, o sistema de controle permitiu um aumento de 20% na radiação UV-B em função da radiação solar monitorada no momento, através do uso de lâmpadas UV-B 313 (Q-lab Cleveland, Ohio, EUA). Por outro lado, também foram utilizados painéis para reduzir a radiação UV-B em 80% por meio de filmes específicos de poliéster (OD 125_m, Dupont), o que permitiu comparar tratamentos que simulavam diferentes doses de radiação UV-B (Figuras 24.6C e 24.6D). Esse sistema foi o primeiro a ser implementado no Brasil e foi baseado em estruturas similares descritas por Caldwell et al. (1983) e Flint e Caldwell (2003) com modificações (Nechet et al., 2015).

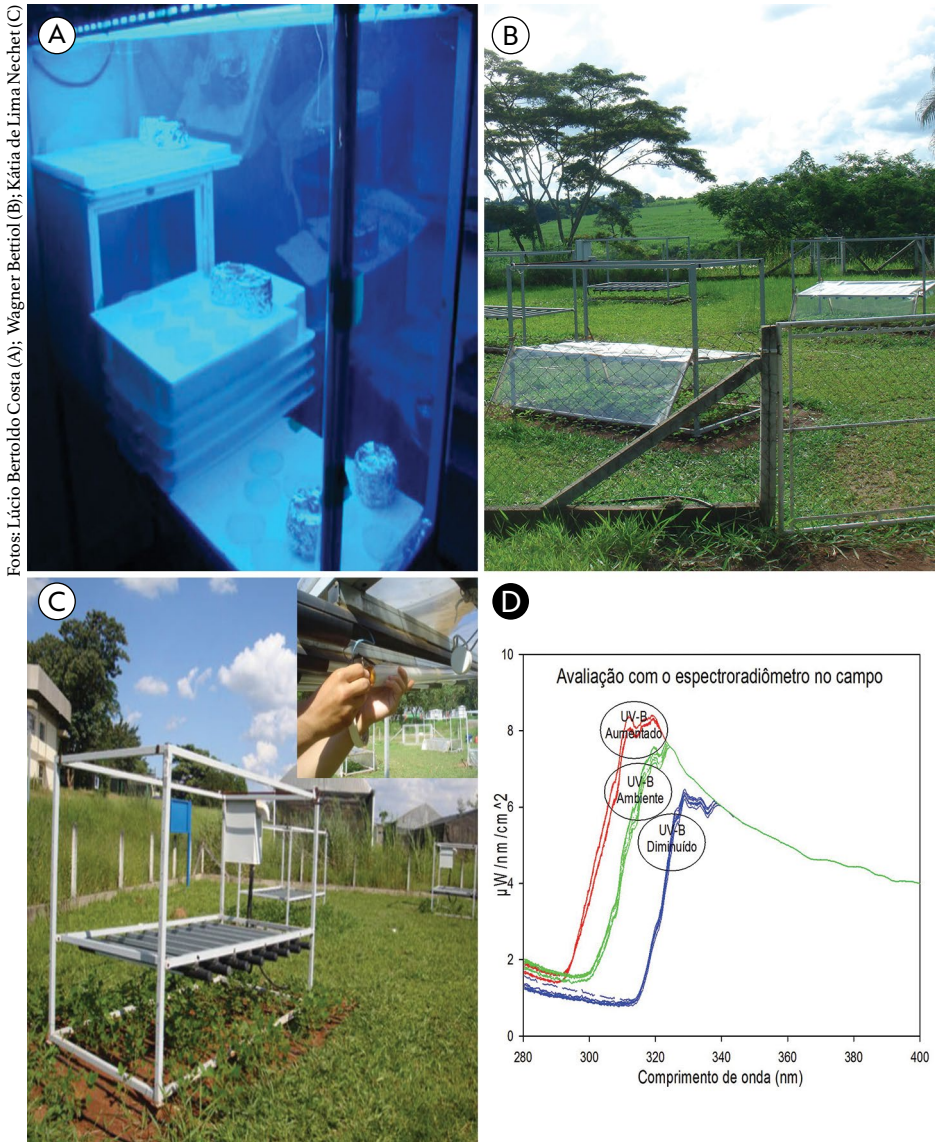


Figura 24.6. Estruturas utilizadas para simulação de aumento de radiação UV-B em condições controladas (A) e de campo (B) na Embrapa Meio Ambiente; detalhes dos painéis de simulação (C); gráfico demonstrando as diferentes doses de UV-B simuladas em campo (D).

Diversos estudos foram desenvolvidos no Laboratório de Microbiologia Ambiental “Raquel Ghini” da Embrapa Meio Ambiente para avaliar os efeitos do aumento da radiação UV-B sobre agentes de biocontrole. Costa et al. (2012) e Costa et al. (2013) observaram que a elevação na radiação UV-B causou forte efeito deletério sobre os conídios de *Clonostachys rosea*, agente de controle biológico de *Botrytis cinerea*, além de reduzir a colonização de discos de folhas de morango e de feijão. Os autores ainda observaram que a radiação UV-B reduziu a habilidade antagonista de *C. rosea* para o controle de *B. cinerea*. Esses autores também observaram variação na sensibilidade da germinação de isolados de *C. rosea* submetidos ao aumento de radiação UV-B e na colonização de discos de folhas de feijão. Uma observação importante é que *B. cinerea* foi menos afetado pela radiação UV-B do que *C. rosea* (Costa et al., 2016).

Galvão e Bettiol (2014) observaram que o aumento da radiação UV-B inativou ou atrasou a germinação de esporos de *Lecanicillium lecanii*, fungo que naturalmente controla a ferrugem do cafeeiro causada por *H. vastatrix*. Também observaram que existe variação na sensibilidade à radiação UV-B de isolados de *L. lecanii*, pois a colonização de pústulas de ferrugem, em discos de folhas de café, pelo antagonista, também foi afetada. Esses resultados são importantes para as empresas que comercializam agentes de biocontrole, uma vez que indicam claramente a necessidade da inclusão de protetor solar em suas formulações.

Em feijoeiro cultivado em condições de campo sob aumento da radiação UV-B, Costa (2011) observou a redução na colonização das folhas por *C. rosea*. Em outro estudo conduzido em campo aberto houve a infecção latente de fungos na cultura do morango durante duas estações de cultivo. Nechet et al. (2015) verificaram que o aumento da radiação UV-B não teve efeito sobre a incidência de *Rhizopus nigricans* e *B. cinerea*. Porém, a incidência de *Colletotrichum acutatum* foi maior na estação chuvosa, indicando que a antracnose do morangueiro pode vir a ser um problema em condições de aumento de radiação UV-B associado à alta precipitação pluviométrica.

O aumento da radiação UV-B também não teve efeito sobre a habilidade de *C. rosea* para controlar o mofo cinzento causado por *B. cinerea*, tanto na estação chuvosa como na estação seca (Nechet et al., 2017). Importante ressaltar que esse isolado de *C. rosea* utilizado nos ensaios de campo foi previamente selecionado por Costa et al. (2012), em condições controladas, por apresentar maior tolerância às doses de aumento da radiação UV-B. O controle biológico ocorreu por antagonismo e não por indução de resistência, uma vez que não houve variação na expressão das enzimas peroxidases e quitinases nas plantas expostas às diferentes condições de radiação UV-B. Aumento na expressão da enzima polifenol oxidase foi observado na estação chuvosa, mas esse aumento não teve correlação com a redução da incidência da doença (Nechet et al., 2017).

Em um cenário de aumento de radiação UV-B, o uso de agente de controle biológico tolerante ao UV-B, selecionado em condições controladas, e utilizado em con-

dições de cultivo é fundamental para manter esta estratégia como um método de controle eficiente, o que demonstram os estudos conduzidos para essas culturas de importância econômica para o país. A interação entre radiação UV-B e outras variáveis climáticas (aumento da concentração de CO₂, seca e temperatura) também deve ser considerada (Caldwell et al., 2007; Wu et al., 2009).

TEMPERATURA

O cenário de aumento da temperatura em até 4,8 °C, previsto pelo IPCC (2013), pode interferir tanto no desenvolvimento da planta hospedeira, quanto no ciclo de vida de patógenos e pragas, afetando a suscetibilidade do hospedeiro e os mecanismos de virulência do patógeno. Estas respostas influenciarão a ocorrência das epidemias, uma vez que a temperatura interfere em todas as fases do ciclo de desenvolvimento do patógeno (germinação, infecção, incubação, colonização, reprodução e sobrevivência), aumentando ou reduzindo a severidade das doenças (Angelotti et al., 2017b).

Para entender como o aumento da temperatura impactará a defesa vegetal, experimentos em condições controladas têm sido realizados, e geraram resultados que auxiliam na compreensão da ocorrência da epidemia no campo. Os dados obtidos fornecem informações para a elaboração e a validação de modelos matemáticos que explicam o desenvolvimento de doenças e pragas. Entre os ambientes controlados destacam-se as incubadoras tipo BOD. (*body oxygen demand*) e as câmaras de crescimento tipo Fitotron. O uso de BOD para a experimentação agrícola é de longa data na Fitopatologia e na Entomologia, de modo que muitos estudos são realizados com temperaturas constantes. Entretanto, os avanços tecnológicos permitiram o uso de equipamentos como as câmaras de crescimento tipo Fitotron, que simulam a variação da temperatura ao longo do dia e a interação com outros elementos climáticos (Angelotti et al., 2017; Araújo et al., 2019; Gullino et al., 2017; Santos et al., 2020).

O aumento da temperatura do ar poderá causar uma redução na severidade do oídio do feijão-caupi, do meloeiro e da videira, com um aumento do período latente, o que poderá ter um impacto positivo por retardar a epidemia no campo (Magalhães et al., 2011; Santana, 2013; Araújo et al., 2019). Outro resultado importante obtido nos estudos foi a redução do período de incubação da bactéria *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*, agente causal do cancro bacteriano na videira. A favorabilidade climática para a ocorrência desta doença é uma preocupação para a defesa agropecuária, sendo este resultado importante para que medidas adaptativas sejam tomadas para a prevenção em áreas de produção livre da bactéria (Angelotti et al., 2017c).

Temperaturas a partir de 32 °C causaram impacto negativo sobre a biologia do pulgão *Rhopalosiphum padi*. Entretanto, o inseto encontra condições favoráveis para sobrevivência e reprodução em uma ampla faixa de temperatura (12–28 °C) (Auaud et

al., 2009). A lagarta da soja (Silva et al., 2012) e a cigarrinha das pastagens (Fonseca et al., 2016) sofrem impacto negativo do aumento da temperatura, mas vale ressaltar que os estudos em condições controladas sobre os ciclos de vida restritos não permitem inferir sobre a adaptação das espécies, uma vez que o aumento da temperatura será um processo gradativo ao longo dos anos (Silva et al., 2012). De qualquer maneira, somente a partir do conhecimento do efeito da temperatura na biologia das pragas e os possíveis impactos para os cultivos é que serão elucidados os efeitos das mudanças climáticas na distribuição geográfica e temporal de problemas fitossanitários.

Esses e outros estudos sobre o efeito do aumento da temperatura sobre problemas fitossanitários e os principais resultados estão apresentados na Tabela 24.3.

Tabela 24.3. Impacto do aumento da temperatura na ocorrência de problemas fitossanitários.

Hospedeiro	Problema fitossanitário	Estrutura utilizada para simular o aumento da temperatura	Efeito do aumento da temperatura	Referência
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	<i>Thielaviopsis paradoxa</i> (resinose)	BOD (temperatura constante)	Desenvolvimento ótimo 28 °C	Costa et al. (2011)
Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	<i>Oidium</i> sp. (oidio)	BOD (temperatura alternada)	Redução	Santana (2013)
	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>tracheiphilum</i> (murcha de fusarium)	BOD (temperatura constante)	Aumento	Barbosa et al. (2011)
Forrageiras	<i>Mahanarva spectabilis</i> (cigarrinha-das-pastagens)	BOD (temperatura constante)	Redução	Fonseca et al. (2016)
	<i>Sipha flava</i>	BOD (temperatura constante)		
Melão (<i>Cucumis melo</i>)	<i>Oidium</i> sp. (oidio)	Câmara de crescimento (temperatura alternada)	Redução	Oliveira et al. (2009), Araujo et al. (2019)
Milho (<i>Zea mays</i>)	<i>Spiroplasma kunkelii</i> (enfezamento pálido)	Casa de vegetação	Aumento	Oliveira et al. (2010)
Pêssego (<i>Prunus persica</i>)	<i>Ceratitis capitata</i> (Mosca-das-frutas)	Temperatura constante	Populações de diferentes regiões do país têm a sua biologia alternada	Ricalde et al. (2012)
Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Anticarsia gemmatilis</i> (lagarta da soja)	BOD (temperatura constante)	Redução	Silva et al. (2012)
Videira (<i>Vitis vinifera</i>)	<i>Phakopsora euvtis</i> (ferrugem)	BOD (temperatura constante)	Redução	Angelotti (2006)
	<i>Plasmopara viticola</i> (mildio)		Redução	Angelotti et al. (2017a)
	<i>Oidium tuckeri</i> (oidio)	Redução	Magalhães et al. (2011)	
	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>viticola</i> (cancro bacteriano)	Redução no período de incubação.	Conceição et al. (2017)	

Assim, diante do cenário de mudanças climáticas, será de primordial importância a compreensão da relação entre os problemas fitossanitários e os elementos climáticos (aumento de temperatura, alterações dos padrões de precipitação, etc.) obtida por meio de experimentação. Esse conhecimento empírico aperfeiçoará os estudos dos impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica e temporal, adotando a metodologia de mapeamento citada por Hamada e Ghini (2017), que utilizam as projeções dos modelos climáticos globais do IPCC para simular o clima futuro e vinculam-nas às predições dos problemas fitossanitários, com base no Sistema de Informações Geográficas.

As alterações na dinâmica dos problemas fitossanitários provocadas pelo aumento da temperatura do ar terão efeito direto nas práticas de manejo. A eficácia e persistência dos pesticidas químicos e o desenvolvimento de resistência em populações ainda são áreas que necessitam de mais estudos. Em ambiente natural, há interação da temperatura com os outros elementos climáticos. Assim, experimentos que simulem a interação de fatores também serão necessários. Avanços que incluam análises sobre a resistência genética da planta hospedeira também contribuirão para a adoção de medidas de adaptação, uma vez que os estresses abióticos, intensificados pelas mudanças climáticas, podem alterar a predisposição da planta hospedeira e provocar a quebra de resistência, aumentando a severidade das epidemias. Ressalta-se que somente após a avaliação dos impactos das mudanças climáticas é que medidas de adaptação por meio da adoção de práticas de controle eficientes e sustentáveis poderão ser adotadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de instrumentação para simular modificações nos elementos climáticos é fundamental para os estudos dos efeitos das mudanças climáticas nos componentes dos sistemas agrícolas. Considerando os resultados observados nos anos de estudo, verificamos que o efeito do aumento da $[CO_2]$ e da temperatura do ar podem alterar de maneira significativa a incidência e a severidade de doenças em plantas e a infestação de insetos-pragas, plantas daninhas, e suas interações multi-tróficas, com variação para os diferentes cultivos agrícolas. A seleção de agentes de controle biológico tolerantes ao aumento da radiação UV-B é fundamental para manutenção desse método de controle em cenários futuros.

Os resultados apresentados foram obtidos em parceria com as seguintes instituições: Embrapa Semiárido, Embrapa Uva e Vinho, Embrapa Soja, Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Instrumentação, Embrapa Café, Instituto Agrônomo, Instituto Biológico de São Paulo, Instituto de Botânica, Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Energia Nuclear na Agricultura-Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Viçosa, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Agrônomicas - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e Universidade do Vale do Paraíba.

Os seguintes projetos foram executados para a obtenção dos resultados apresentados:

Impactos das mudanças climáticas globais sobre problemas fitossanitários (Climapest). Instituição: Embrapa Meio Ambiente (Edital Embrapa 06/2007);

Impacto das mudanças climáticas sobre doenças e pragas em cultivos de importância para a agroindústria da Argentina e do Brasil (Climafitos). Instituição: Embrapa Meio Ambiente (Edital Embrapa 22/2011 - Cooperação Internacional Embrapa/INTA);

Impacto das mudanças climáticas nas doenças em cultivos: projeto de cooperação técnica Brasil-Argentina (Climafitos 2). Instituição: Embrapa Meio Ambiente (Edital Embrapa 00/2018 - Projetos Cofinanciados 2018 - Nacional e Internacional);

Impacto do aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico e disponibilidade de água sobre a cultura do café em experimento FACE (“free air carbon-dioxide enrichment” (Climapest-FACE). Instituição: Embrapa Meio Ambiente (Edital Embrapa Macroprogramas 1, 2, 3 e 6);

Efeito da radiação UV-B no controle biológico de *Botrytis cinerea* do morango com *Clonostachys rosea*. Instituição: Embrapa Meio Ambiente (Edital Embrapa 06/2010; CNPq Processo 474797/2011-2);

Efeitos da Alta Concentração Atmosférica de CO₂ [CO₂]_{atm} em Câmaras de Topo Aberto e Sistema FACE sobre a Fotossíntese e os Mecanismos Naturais de Resistência do Cafeeiro à Ferrugem. Instituição: Instituto de Botânica. (FAPESP 12/08875-3);

Modelagem de arquitetura de cafeeiros arábica acoplada com funções fisiológicas em dois regimes hídricos e os seus impactos na composição química e qualidade de produto. Instituição: Embrapa Informática Edital 02/2013 Macroprograma 02 – Programa Café);

Impacto do aumento do CO₂ na fisiologia de plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill), nas características biológicas do percevejo marrom, *E. heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) e sua interação com simbiontes. Instituição: Embrapa Meio Ambiente. (CNPq Processo: 421754/2016-8).

REFERÊNCIAS

ABREU, P. F. G. de; NASCIMENTO, R. dos S.; NECHET, K. L. Monitoramento e caracterização de isolados endofíticos de *Colletotrichum sp.* de café em experimento FACE (free air CO₂ enrichment). In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2015, Campinas. *Anais...* Campinas: Instituto Agrônômico (IAC), 2015. RE n° 15407 8 p.

AINSWORTH, E. A.; ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell & Environmental*, v. 30, p. 258–270, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x>.

ALEXANDER, L. V.; ALLEN, S. K.; BINDOFF, N. L.; BRÉON, F.-M.; CHURCH, J. A.; CUBASCH, U.; EMORI, S.; FORSTER, P.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GILLET, N.; GREGORY, J. M.; HARTMANN, D. L.; JANSEN, E.; KIRTMAN, B.; KNUTTI, R.; KANIKICHARLA, K. K.; LEMKE, P.; MAROTZKE, J.; MASSON-DELMOTTE, V.; MEEHL, G. A.; MOKHOV, I. I.; PIAO, S.; PLATTNER, G.-K.; DAHE, Q.; RAMASWAMY, V.; RANDALL, D.; RHEIN, M.; ROJAS, M.; SABINE, C.; SHINDELL, D.; STOCKER, T. F.; TALLEY, L. D.; VAUGHAN, D. G.; XIE, S. IPCC, 2013: summary for policymakers. 2013. In: STOKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (ed.). *Climate change 2013: the physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York, 2013. 29 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIAR5_SummaryVolume_FINAL.pdf. Acesso em: 10 maio 2021.

ALLAN, R. P.; ARIAS, P. A.; BERGER, S.; CANADELL, J. G.; CASSOU, C.; CHEN, D.; CHERCHI, A.; CONNORS, S. L.; COPPOLA, E.; CRUZ, F. A.; DIONGUENIANG, A.; DOBLAS-REYES, F. J.; DOUVILLE, H.; DRIOUECH, F.; EDWARDS, T. L.; ENGELBRECHT, F.; EYRING, V.; FISCHER, E.; FLATO, G. M.; FORSTER, P.; FOXKEMPER, B.; FUGLESTVEDT, J. S.; FYFE, J. C.; GILLET, N. P.; GOMIS, M. I.; GULEV, S. K.; GUTIÉRREZ, J. M.; HAMDI, R.; HAROLD, J.; HAUSER, M.; HAWKINS, E.; HEWITT, H. T.; JOHANSEN, T. G.; JONES, C.; JONES, R. G.; KAUFMAN, D.S.; KLIMONT, Z.; KOPP, R. E.; CHARLES KOVEN, C.; KRINNER, G.; LEE, J.-Y.; LORENZONI, I.; MAROTZKE, J.; MASSON-DELMOTTE, V.; MAYCOCK, T. K.; MEINSHAUSEN, M.; MONTEIRO, P. M. S.; MORELLI, A. NAIK, V.; NOTZ, D.; OTTO, F.; PALMER, M. D.; PINTO, I.; PIRANI, A.; PLATTNER, G.-K.; RAGHAVAN, K.; RANASINGHE, R.; ROGELJ, J.; ROJAS, M.; RUANE, A. C.; SALLÉE, J.-B.; SAMSET, B. H.; SENEVIRATNE, S. I.; SILLMANN, J.; SÖRENSON, A. A.; STEPHENSON, T. S.; STORELVMO, T.; SZOPA, S.; THORNE, P. W.; BLAIR TREWIN, B.; VAUTARD, R.; VERA, C.; YASSAA, N.; ZAEHLE, S.; ZHAI, P.; XUEBIN ZHANG, X.; ZICKFELD, K. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; LEITZELL, K.; LONNOY, E.; MATTHEWS, J. B. R.; MAYCOCK, T. K.; WATERFIELD, T.; YELEKÇI, O.; YU, R.; ZHOU, B. (ed.). *Climate change 2021: the physical science basis. contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press: IPCC, 2021. 31 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Acesso em: 22 abr. 2021.

ALLEN, M.; BABIKER, M.; CHEN, Y.; CONINCK, H. de; CONNORS, S.; DIEMEN, R. v.; DUBE, O. P.; EBI, H. L.; ENGELBRECHT, F.; FERRAT, M.; FORD, F.; FORSTER, P.; FUSS, S.; BOLAÑOS, T. G.; JORDAN, H.; HOEGH-GULDBERG, O.; HOURCADE, J.-C.; HUPPMANN, D.; JACOB, D.; JIANG, J.; JOHANSEN, T. G.; KAINUMA, M.; KLEIJNE, K. de; KRIEGLER, E.; LEY, D.; LIVERMAN, D.; MAHOWALD, N.; MASSON-DELMOTTE, V.; MATTHEWS, J. B. R.; MILLAR, R.; MINTENBECK, K.; MORELLI, A.; MOUFOUMA-OKIA, W.; MUNDACA, L.; NICOLAI, M.; OKEREKE, C.; PATHAK, M.; PAYNE, A.

PIDCOCK, R.; PIRANI, A.; POLOCZANSKA, E.; PÖRTNER, H.; REVI, A.; RIAHI, K.; ROBERTS, D. C.; ROGELJ, J.; ROY, J.; SENEVIRATNE, S. I.; SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; SLADE, R.; SHINDELL, D.; SINGH, C.; SOLECKI, W.; STEG, L.; TAYLOR, M.; TSCHAKERT, P.; WAISMAN, H.; WARREN, R.; ZHAI, P.; ZICKFELD, K. IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V., P.; ZHAI, H.-O.; PÖRTNER, D. R.; SKEA, J.; SHUKLA, P. R.; PIRANI, A.; MOUFOUMA-OKIA, W.; PÉAN, C.; PIDCOCK, R.; CONNORS, S.; MATTHEWS, J. B. R.; CHEN, Y.; ZHOU, X.; GOMIS, M.I.; LONNOY, E.; MAYCOCK, T.; TIGNOR, M.; WATERFIELD, T. (ed.). **Global warming of 1.5°C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. Suíça: IPCC, 2018. 24 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

ANDERSON, R.; BAYER, P. E.; EDWARDS, D. Climate change and the need for agricultural adaptation. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 56, p. 197–202, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006>.

ANDRADY, A. L.; AUCAMP, P. J.; AUSTIN, A.; BAIS, A. F.; C. L. BALLARÉ, C. L.; BARNES, P. W.; BERNHARD, G. H.; BORNMAN, J. F.; CALDWELL, M. M.; GRUIJL, F. R. DE; ERICKSON III, D. J.; FLINT, S. D.; GAO, K.; GIES, P.; HÄDER, D.-P.; ILYAS, M.; LONGSTRETH, J.; LUCAS, R.; MADRONICH, S.; MCKENZIE, R. L.; NEALE, R.; NORVAL, M.; PANDY, K. K.; PAUL, N. D.; RAUTIO, M.; REDHWI, H. H.; ROBINSON, S. A.; ROSE, K.; SHAO, M.; SINHA, R. P.; SOLOMON, K. R.; SULZBERGER, B.; TAKIZAWA, Y.; TANG, X.; TORIKAI, A.; TOURPALI, K.; LEUN, J. C. van der; WÄNGBERG, S.-Å.; WILLIAMSON, C. E.; WILSON, S. R.; WORREST, R. C.; YOUNG, A. R.; ZEPP, R. G. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 assessment. Executive summary. **Photochemical and Photobiological Sciences**, v. 14, p. 14–18, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/c4pp90042a>.

ANGELOTTI, F. **Epidemiologia da ferrugem (*Phakopsora euvtis*) da videira (*Vitis spp.*)** 2006. 66 f. Tese (Doutorado em Proteção de plantas) - Universidade Estadual de Maringá, Paraná.

ANGELOTTI, F. **Mudanças climáticas e doenças da videira**. In: GALVINCIO, J. D. (org.). **Mudanças climáticas e modelos ambientais: caracterização e aplicação**. Recife: UFPE, 2011. p. 154-177.

ANGELOTTI, F.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Como o aumento da temperatura interfere nas doenças de plantas? In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017b. p. 116-146.

ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; MAGALHÃES, E. E.; GHINI, R.; GARRIDO, L. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J. Climate change and the occurrence of downy mildew in Brazilian grapevines. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 426-434, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000600006>.

ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; PEIXOTO, A. R.; GARRIDO, L. da R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do cancro-bacteriano da videira no Brasil. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017c. p. 243-261.

ARAÚJO, A. L. S.; ANGELOTTI, F.; RIBEIRO JUNIOR, P. M. Severity of melon powdery mildew as a function of increasing temperature and carbon dioxide concentration. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, e6916, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i4a6916>

- AUAD, A. M.; ALVES, S. O.; CARVALHO, C. A. de; SILVA, D. M. da; RESENDE, T. T. de; 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1653/024.092.0406>.
- AUAD, A. M.; FONSECA, M. G. da. A entomologia nos cenários das mudanças climáticas. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R (ed.). **Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários**. Embrapa, Brasília, p. 488, 2017.
- BARBOSA, L. G.; PINHEIRO, G. S.; SANTOS, R. M.; ANGELOTTI, F.; MAGALHÃES, E. D. de. Impacto do aumento da temperatura sobre o crescimento e esporulação de *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. **Experiências para mitigação e adaptação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 1 CD-ROM. (Embrapa Semiárido. Documentos, 239).
- BATISTA, E. R.; MARINHO-PRADO, J. S.; MINEIRO, J. L. C.; SATO, M. E.; LUIZ, A. J. B.; FRIGHETTO, R. T. S. Increased atmospheric CO₂ combined with local climatic variation affects phenolics and spider mite populations in coffee trees. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, e20190696, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-376520210190696e>.
- BILBAIO, J.; ROMAN, R.; YOUSIF, C.; MATEOS, D.; MIGUEL, A. de. Total ozone column, water vapour and aerosol effects on erythemal and global solar irradiance in Marsaxlokk, Malta. **Atmospheric Environmental**, v. 99, p. 508-518, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.10.005>.
- CALDWELL, M. M.; BORNMAN, J. F.; BALLARE, C. L.; FLINT, S. D.; KULANDAIVELU, G. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with both climate change factors. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 6, p. 252-266, 2007. DOI: <https://dx.doi.org/10.1039/b700019g>.
- CALDWELL, M. M.; FLINT, S. D.; Stratospheric ozone reduction, solar UV-B radiation and terrestrial ecosystems. **Climatic Change**, v. 28, p. 375-394, 1994. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01104080>.
- CALDWELL, M.M.; GOLD, W.G.; HARRIS, G.; ASHURST, C.W. A modulated lamp system for solar UV-B (280-320nm). Supplementation studies in the field. **Photochemistry and Photobiology**, v. 37, p. 479-485, 1983.
- CAMPA, C.; MONDOLOT, L.; RAKOTONDRAVAO, A.; BIDEL, L. P. R.; GARGADENNEC, A.; COUTURON, E. L. A.; FISCA, P.; RAKOTOMALALA, J. J.; JAY-ALLEMAND, C.; DAVIS, A. P. A survey of magiferin and hydroxycinnamic acid ester accumulation in coffee (*Coffea*) leaves: biological implications and uses. **Annals of Botany**, v. 110, p. 595-613, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/b700019g>.
- CASTRO, J. M. da C. e; ANGELOTTI, F.; RITZINGER, C. H. S. P.; MAGALHÃES, E. E.; FERNANDES, H. A.; COSTA FILHO, J. H. da. População de nematoides de vida livre em ambiente enriquecido com CO₂. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. **Experiências para mitigação e adaptação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 1 CD-ROM. (Embrapa Semiárido. Documentos, 239).
- CHAKRABORTY, S., NEWTON, A.C. Climate change, plant diseases and food security: an overview. **Plant Pathology**, v. 60, p. 2-14, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>.

CONCEIÇÃO, J. L. A.; ANGELOTTI, F.; PEIXOTO, A. R.; GHINI, R. Infection by *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* under temperature increase and carbon dioxide concentrations. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 2, p. 214-220, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v8i2.1779>.

COSTA, A. C. S.; DORNELES JUNIOR, J.; SANTOS, E. R. DOS; PRADO, S. de S. Impacto do dióxido de carbono em simbiontes do percevejo da soja, *Euschistus heros*. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12, 2018, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomico, 2018. n° 18413, p. 1-8.

COSTA, L. B. Efeito da radiação ultravioleta-B sobre *Trichoderma* spp. e *Clonostachys rosea*, agentes de biocontrole de fitopatógenos. 2011. 80 f. Dissertação - (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

COSTA, L. B., RANGEL, D., MORANDI, M., BETTIOL, W. Effects of UV-B radiation on the antagonistic ability of *Clonostachys rosea* to *Botrytis cinerea* on strawberry leaves. **Biological Control**, v. 65, p. 95-100, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.12.007>.

COSTA, L. B., RANGEL, D., MORANDI, M., BETTIOL, W. Impact of UV-B radiation on *Clonostachys rosea* germination and growth. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, p. 2497-504, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-012-1057-7>.

COSTA, L. B., RANGEL, D., MORANDI, M., STRICKER, S. M., BETTIOL, W. UV-B radiation reduces biocontrol ability of *Clonostachys rosea* against *Botrytis cinerea*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 26, p. 1736-1749, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1241981>.

COSTA e CARVALHO, R. R.; WARWICK, D. R. N.; SOUZA, P. E.; CARVALHO FILHO, J. L. S. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de esporos de *Thielaviopsis paradoxa* isolado de coqueiros em Sergipe. **Scientia Plena**, v. 7, n. 9, p. 1-5, 2011.

DaMATTA, F. M.; GODOY, A. G.; MENEZES-SILVA, P. E.; MARTINS, S. C. V.; SANGLARD, L. M. V. P.; MORAIS, L. E.; TORRE NETO, A.; GHINI, R. Sustained enhancement of photosynthesis in coffee trees grown under free-air CO₂ enrichment conditions: disentangling the contributions of stomatal, mesophyll, and biochemical limitations. **Journal of Experimental Botany**, v. 167, p. 341-352, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv463>.

DaMATTA, F.M.; RAHN, E.; LÄDERACH, P.; GHINI, R.; RAMALHO, J.C. Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated? **Climatic Change**, v. 152, p. 167-178, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2346-4>.

DORNELES JUNIOR, J. Desenvolvimento de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) em ambiente enriquecido com CO₂. 2017. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp Campus Botucatu, Botucatu. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/150033>. Acesso em: 12 ago. 2021.

DORNELES JUNIOR, J.; ALMEIDA, G. R. DE; ZANOTTA, S.; DOLCEMASCOLLO, T. P.; PERREIRA, L. S.; APOLINÁRIO, M. L.; PRADO, S. de S. Levantamento populacional de cigarrinhas, potenciais vetoras de *Xylella fastidiosa*, sob condições de aumento de dióxido de carbono em plantas de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 49., 2016, Maceió. **Anais...** Maceió: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2016. Ref. 632.

DORNELES JUNIOR, J.; PRADO, S. S. Influência da adição de CO₂ em plantas de *Glycine max* (L.) Merrill. In: SIMPOSIO DE ECOFISIOLOGIA APLICADA A AGRICULTURA, 1., 2015, Botucatu. *Anais...* Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 2015.

DORNELES JUNIOR, J.; SOUZA, D. M. de; BARROS, L. S.; PRADO, S. de S.; BUENO, R. C. O. de F. Efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre ninfas de 1 instar de *Euchistus heros* (Fabr.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOSSANIDADE, 3., 2015, Águas de Lindóia. *Anais...* Águas de Lindóia: Unesp, 2015. p. 126-128.

FERNANDES, H. A.; ANGELOTTI, F.; PINHEIRO, G. S.; CALGARO, M.; GHINI, R.; TORRE NETO, A.; BARBOSA, L. G. Impacto do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a severidade da ferrugem em videira cv. sugraone In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. *Anais...* Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012.

FERREIRA, M. F. *Bactérias endofíticas em tecidos de cafeeiro sob diferentes concentrações de CO₂*, 2017. 74 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus Botucatu, Botucatu. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/151319>. Acesso em: 12 ago. 2021.

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, p. 161-166, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10340-012-0449-7>.

FIOLETOV, V.E.; BODEKER, G.E.; MILLER, A.J.; MCPETERS, R.D.; STOLARSKI R. Global and zonal total ozone variations estimated from ground-based and satellite measurements: 1964-2000. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, p. 1-14, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001JD001350>.

FLINT, S. D.; CALDWELL, M. M. Field testing of UV biological spectral weighting functions for higher plants. *Physiologia Plantarum*, v. 117, p. 145-153, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.1170118.x>.

FONSECA, M. das G.; AUAD, A. M.; RESENDE, T. T. de; 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. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iiew005>.

FONSECA, M. das G.; SANTOS, D. R. dos; AUAD, A. M. Impact of different carbon dioxide concentrations in the olfactory response of *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae) and its predators. *Journal of Insect Behavior*, v. 27, p. 722-728, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10905-014-9463-3>.

GALVÃO, J. A. H., BETTIOL, W. Effects of UV-B radiation on *Lecanicillium* spp., biological control agents of the coffee leaf rust pathogen. *Tropical Plant Pathology*, v. 39, p. 392-400, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000500006>.

GHINI, R. *Mudanças climáticas globais e doenças de plantas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 109 p.

GHINI, R.; HAMADA, E. *Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 331 p.

GHINI, R.; HAMADA, E., ANGELOTTI, F.; COSTA, L. B.; BETTIOL, W. Research approaches, adaptation strategies, and knowledge gaps concerning the impacts of climate change on plant diseases. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, p. 5-24, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000100002>.

GHINI, R.; HAMADA, E., BETTIOL, W. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, v. 60, p. 122-132, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x>.

GHINI, R.; MAC LEODB, R. E. O.; SANTOS, M. S.; SILVA, C. E. O. Elevated atmospheric carbon dioxide concentration increases eucalyptus plantlets growth and reduces diseases severity. **Procedia Environmental Sciences**, v. 29, p. 206-207, 2015a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.264>.

GHINI, R.; MAC LEOD, R. E. O.; TORRE NETO, A.; CARDOSO, D. C.; BETTIOL, W.; MORAIS, L. A. S. de; VIQUE, B. Increased atmospheric carbon dioxide concentration: effects on eucalypt rust (*Puccinia psidii*), C: N ratio and essential oils in eucalypt clonal plantlets. **Forest Pathology**, v. 44, n. 5, p. 409-416, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/efp.12117>.

GHINI, R.; TORRE NETO, A.; DENTZIEN, A. F. M.; GUERREIRO-FILHO, O.; IOST, R.; PATRÍCIO, F. R. A.; MARINHO-PRADO, J. S.; THOMAZIELLO, R. A.; BETTIOL, W.; DaMATTA, F. M. Coffee growth, pest and yield responses to free-air CO₂ enrichment. **Climatic Change**, v. 132, p. 307-320, 2015b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-015-1422-2>.

GODIN-BEEKMANN, S. Spatial observation of the ozone layer. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 342, p. 339-348, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.10.012>.

GÓRIA, M. M.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a incidência de *Pyricularia grisea* em sementes de arroz cultivado em estufas de topo aberto In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. **Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, 2012. 4 p.

GÓRIA, M. M.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Elevated atmospheric CO₂ concentration increases rice blast severity. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 3, p. 253-257, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013005000010>.

GULLINO, M. L.; ALBAJES, R.; AL-JBOORY, I.; ANGELOTTI, F.; CHAKRABORTY, S.; GARRETT, K. A.; HURLEY, B. P.; JUROSZEK, P.; MAKKOUK, K.; PAN, X.; STEPHENSON, T. **Scientific review of the impact of climate change on plant pests: a global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems**. Rome: FAO; International Plant Protection Convention; IPPC Secretariat, 2021. 72 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb4777en/cb4777en.pdf>. Acesso em: 23 set. 2021.

GULLINO, M. L.; PUGLIESE, M.; GILARDI, G.; GARIBALDI, A. Effect of increased CO₂ and temperature on plant diseases: A critical appraisal of results obtained in studies carried out under controlled environment facilities. **Journal of Plant Pathology**, v. 100, p. 371-389, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42161-018-0125-8>.

HAMADA, E.; GHINI, R. Metodologia de mapeamento para avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 53-67.

- IOST, R. **Café arábica em experimento tipo FACE (“Free Air Carbon Dioxide Enrichment”): intensidade da ferrugem e do bicho-mineiro e crescimento da planta.** 2017. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus Botucatu, Botucatu. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/151156>. Acesso em: 12 ago. 2021.
- JABLONSKI, L. M.; WANG, X.; CURTIS, P. S. Plant reproduction under elevated CO₂ conditions: a meta-analysis of reports on 79 crop and wild species. *New Phytologist*, v. 156, p. 9-26, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00494.x>.
- JONES, R. R. Ozone depletion and its effects on human- populations. *British Journal of Dermatology*, v. 127, p. 2-6, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.1992.tb16980.x>.
- KUNZ, B. A.; CAHILL, D. M.; MOHR, P. G.; OSMOND, M. J.; VONARX, E. J. Plant responses to UV radiation and links to pathogen resistance. *International Review of Cytology*, v. 255, p. 1-40, 2006. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(06\)55001-6](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(06)55001-6).
- LESSIN, R. C.; GHINI, R. Efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre o oídio e o crescimento de plantas de soja. *Tropical Plant Pathology*, v. 34, n. 6, p. 385-392, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000600004>.
- LESSIN, R. C.; GHINI, R. **Impacto do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a ferrugem asiática e o desenvolvimento de plantas de soja.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 19 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa, 57).
- LONG, S. P.; AINSWORTH, E. A.; LEAKEY, A. D. B.; NÖSBERGERAND, J.; ORT, D. R. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science*, v. 312, p. 1918-1921, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1114722>.
- MADRONICH, S.; MCKENZIE, R. L.; BJORN, L.O.; CALDWELL, M. M. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, v. 46, p. 5-19, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1039/b700017k>.
- MAGALHÃES, E. E. de; ANGELOTTI, F.; FERNANDES, H. A.; PEIXOTO, A. R.; BARBOSA, L. G.; PINHEIRO, G. S. Severidade do oídio da videira em função do aumento da temperatura do ar. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. **Experiências para mitigação e adaptação.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 1 CD-ROM. (Embrapa Semiárido. Documentos, 239).
- MAGALHÃES, S. T., FERNANDES, F. L., DEMUNER, A. J., PICANÇO, M. C.; GUEDES, R. N. C. Leaf alkaloids, phenolics, and coffee resistance to the leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepdoptera: Lyonetiidae). *Journal of Economic Entomology*, v. 103, p. 1438-1443, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1603/EC09362>.
- MANNING, W. J.; TIEDEMAN, A. V. Climate change: potential effects of increased atmospheric bon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. *Environmental Pollution*, v. 88, p. 219-245, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(95\)91446-R](https://doi.org/10.1016/0269-7491(95)91446-R).
- MIRANDA, T.M.; DORNELES JUNIOR, J.; PRADO, S. DE S. Impacto do aumento do CO₂ no percevejo marrom, *Euschistus heros*. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIÊNTEFICA, 9., 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2015. 7 p.

NECHET, K. L.; HECK, D. W.; TERAQ, D.; HALFELD-VIEIRA, B. A. Effect of the increase of UV-B radiation on strawberry fruit quality. *Scientia Horticulturae*, v. 193, p. 7-12, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.044>.

NECHET, K. L.; VILELA, E. S. D.; HECK, D. W.; TERAQ, D.; HALFELD-VIEIRA, B. A. Effect of increased UV-B radiation on biological control of the gray mold by *Clonostachys rosea* and on the expression of strawberry defense-related enzymes. *Australasian Plant Pathology*, v. 46, n. 2, p. 107-113, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s13313-017-0467-2>.

OLIVEIRA, E.; LANDAU, E.C. **Influência da temperatura nos sintomas causados pelo enfezamento pálido no milho**. Sete Lagoas-MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica; 151).

OLIVEIRA, S. A. de; SOUZA, B.; AUAD, A. M.; SILVA, D. M. da; SOUZA, L. S.; CARVALHO, C. A. de. Desenvolvimento e Reprodução de *Sipha flava* (Forbes) (Hemiptera: Aphididae) em Diferentes Temperaturas. *Neotropical Entomology*, v. 38, n. 3, p. 311-316, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000300002>.

PAUL, N.D. Stratospheric ozone depletion, UV-B radiation and crop disease. *Environmental Pollution*, v. 108, p. 343-355, 2000. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00213-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00213-4).

PINHEIRO, G. S.; FERNANDES, H. A.; ANGELOTTI, F.; BARBOSA, L. G.; BARROS, J. R. A.; CALGARO, M.; GHINI, R.; TORRE-NETO, A. Impacto do aumento da concentração de CO₂ na severidade do míldio da videira. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. *Anais...* Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. 5 p.

PIRES, T. A.; SOUZA, V. C.; MARINHO-PRADO, J. S. Himenópteros parasitoides de bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) em cafeeiros submetidos a aumento da concentração de dióxido de carbono. In: XXV Congresso Brasileiro de Entomologia, 2014, Goiânia - GO. Entomologia integrada à sociedade para o desenvolvimento sustentável. *Anais...* Goiânia: Sociedade Entomológica do Brasil; Embrapa Arroz e Feijão, 2014a.

PIRES, T. A.; SOUZA, V. C.; MARINHO-PRADO, J. S. Infestação por moscas-das-frutas e parasitismo em frutos de café sob altas concentrações de dióxido de carbono. In: RAIB: Reunião Anual do Instituto Biológico, 27, 2014, São Paulo. *O Biológico*, v. 76. p. 134-134, 2014b. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v76_2/p134.pdf. Acesso em: 30 jul. 2021.

PRADO, S. de S. Impacto da temperatura na manutenção dos simbiontes associados aos cecos gástricos de percevejos. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. *Anais...* Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012.

PRADO, S. de S.; CORREA, D.P.; LOPES, J. R. S. Impacto do aumento de CO₂ sobre populações do complexo de cigarrinhas presente em cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 25, 2014, Goiânia. Entomologia integrada à sociedade para o desenvolvimento sustentável. *Anais...* Goiânia: Sociedade Entomológica do Brasil; Embrapa Arroz e Feijão, 2014.

RAKOCEVIC, M.; BATISTA, E. R.; PAZIANOTTO, R. A.; SCHOLZ, M. B. S.; SOUZA, G. A.; CAMPOSTRINI, E.; RAMALHO, J. C. Leaf gas exchange and bean quality fluctuations over the whole canopy vertical profile of Arabic coffee cultivated under elevated CO₂. *Functional Plant Biology*, v. 48, p. 469-482, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP20298>.

RAKOCEVIC, M., MALAGODI-BRAGA, K. S.; BATISTA, E. R.; MAIA, A. H. N.; SCHOLZ, M. B. S.; FILIZOLA, H. F. The vegetative growth assists to reproductive responses of Arabic coffee trees in a long-term FACE experiment. *Plant Growth Regulation*, v. 91, p. 305–316, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10725-020-00607-2>.

RAKOCEVIC, M.; RIBEIRO, R.V.; MARCHORI, P.E.R.; FILIZOLA, H.F.; BATISTA, E.R. Structural and functional changes in coffee trees after 4 years under free air CO₂ enrichment. *Annals of Botany*, v. 21, p. 1065–1078, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/aob/mcy011>.

RICALDE, M. P.; NAVA, D.E.; LOECK, A. E.; DONATTI, M. G. Temperature-dependent development and survival of Brazilian populations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, from tropical, subtropical and temperate regions. *Journal of Insect Science*, v. 12, n. 33, p. 1–11, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1673/031.012.3301>.

RODRIGUES, D. R.; ANGELOTTI, F.; PINHEIRO, G. S.; GHINI, R.; FERNANDES, H. A. Impacto do aumento da concentração de dióxido de carbono sobre o oídio da videira. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. *Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*, 2012.

SANTANA, C. V. da S. *Interação entre fatores do ambiente e Oidium sp. em feijão-caupi*. 2013. 69 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia.

SANTANA, C. V. da S.; ANGELOTTI, F.; NASCIMENTO, L. C.; RODRIGUES, D. R.; PINHEIRO, G. S.; FERNANDES, H. A.; PEIXOTO, A. R.; COSTA, N. D. Impacto do aumento da concentração de CO₂ sobre o oídio em feijão-caupi. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. *Mudanças climáticas e problemas fitossanitários: Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*, 2012.

SANTOS, J. de O.; ANGELOTTI, F.; COSTA-LIMA, T. C. da. Does elevated CO₂ affect the biological aspects of *Liriomyza sativae* in melon plants? *Semina: ciências agrárias*, v. 42, p. 2151–2162, 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n4p2151>.

SANTOS, M. de S. *Efeito do CO₂ sobre a qualidade nutricional, ferrugem e fusariose da alfafa*. 2015. 55 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus Botucatu, Botucatu. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/126398?show=full>. Acesso em: 30 ago. 2021.

SANTOS, M. de S.; GHINI, R. Severidade de ferrugem em alfafa em elevada concentração de CO₂ do ar. *Summa Phytopathologica*, n. 40, supl., 2014. Edição dos resumos do XXXVII Congresso Paulista de Fitopatologia, 2014, Botucatu. Doenças e Desafios da produção e qualidade na agricultura. Resumo 150.

SANTOS, M. de S. dos; GHINI, R.; FERNANDES, B. V.; SILVA, C. A. Increased carbon dioxide concentration in the air reduces the severity of *Ceratocystis* wilt in Eucalyptus clonal plantlets. *Australasian Plant Pathology*, v. 42, p. 592–599, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s13313-013-0223-1>.

SILVA, C. E. da; GHINI, R. Plant growth and leaf-spot severity on eucalypt at different CO₂ concentrations in the air. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, p. 232–235, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300010>.

SILVA, D. M.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; BUENO, A. F.; BUENO, R. C. O. F.; OLIVEIRA, M. C. N.; MOSCARDI, F. Biological characteristics of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) for three consecutive generations under different temperatures: understanding the possible impact of global warming on a soybean pest. **Bulletin of Entomological Research**, v. 102, p. 285–292, 2012. DOI <https://dx.doi.org/10.1017/S0007485311000642>.

SILVA, M. do C.; VÁRZEA, V.; GUERRA-GUIMARÃES, L.; AZINHEIRA, H.G.; FERNANDEZ, D.; PETITOT, A.-S.; BERTRAND, B.; LASHERMES, P.; NICOLE, M. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 119–147, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100010>.

TORRE NETO, A.; GHINI, R. Rede de sensores sem fio para monitoramento e controle de processos em ambientes agrícolas. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á. V. de.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C. (ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 115–119.

TORRE NETO, A.; SILVA, D. M. D. D. da; CORRÊA, R. R. M.; GHINI, R. Rede de sensores sem fio na implementação de experimento “FACE” para estudos do impacto das mudanças climáticas na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros: anais**. Guarapari: Incaper, 2011. 1 CD ROM.

TOZZI, F. R. O.; GHINI, R. Impacto do aumento da concentração atmosférica do dióxido de carbono sobre a ferrugem e o crescimento do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 8, p. 933–941, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000800005>.

UNITED NATIONS. **The sustainable development goals report 2020**. 68 p.

WATANABE, S., SUDO, K., NAGASHIMA, T., TAKEMURA, T., KAWASE, H., NOZAWA, T. Future projections of surface UV-B in a changing climate. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, D16118, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1029/2011JD015749>.

WING, I. S.; De CIAN, E.; MISTRY, M. N. Global vulnerability of crop yields to climate change. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 109, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102462>.

WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. **Anais...Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, 2012. 1 CD ROM.

WU J.; GUAN, D.; YUAN, F.; ZHANG, X. Research advances on the biological effects of elevated ultraviolet-B radiation on terrestrial plants. **Journal of Forestry Research**, v. 20, p. 383–390, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11676-009-0066-3>.

Apêndice A- Performance do experimento Climapest-FACE de 2011 a 2015, obtidos a partir dos valores em torno da concentração alvo de CO₂ (550±100 µmol.mol⁻¹)

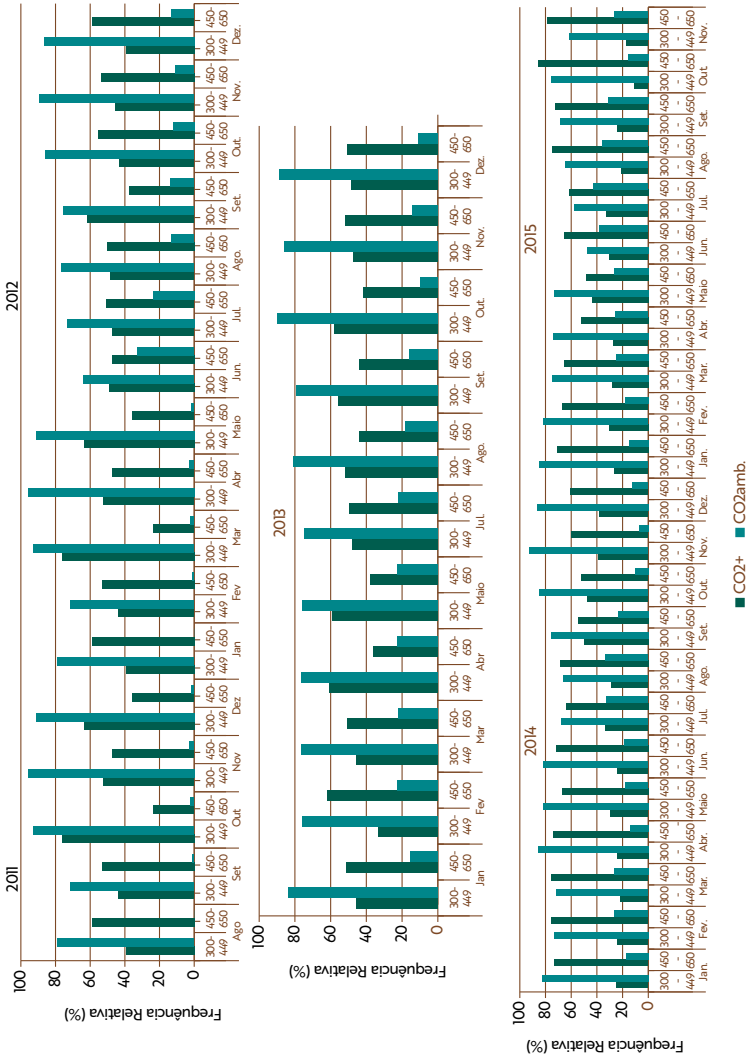


Figura 24.A.1. Frequência relativa (%) dos valores de concentração de CO₂ em torno da concentração alvo (550±100 µmol.mol⁻¹) dos tratamentos com aumento de concentração de CO₂ (+) 200 ppm acima da concentração de CO₂ do ambiente (CO₂ amb), do experimento Climapest-FACE de 2011 a 2015 obtidos a partir dos valores obtidos diariamente por 12 horas em intervalos de 15 segundos.