

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS E CRESCIMENTO DE DUAS CULTIVARES
DE CAFÉ DURANTE O PRIMEIRO ANO EM EXPERIMENTO FACE (“Free Air
Carbon Dioxide Enrichment”)**

REGIANE IOST

Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agronômicas da UNESP
– Campus de Botucatu, para obtenção
do título de Mestre em Agronomia
(Proteção de Plantas).

BOTUCATU-SP
Fevereiro – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS E CRESCIMENTO DE DUAS CULTIVARES
DE CAFÉ DURANTE O PRIMEIRO ANO EM EXPERIMENTO FACE (“Free Air
Carbon Dioxide Enrichment”)**

REGIANE IOST

Orientadora: Dra. Raquel Ghini

Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agronômicas da UNESP
– Campus de Botucatu, para obtenção
do título de Mestre em Agronomia
(Proteção de Plantas).

BOTUCATU-SP
Fevereiro – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO -
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

I64p Iost, Regiane, 1983-
Problemas fitossanitários e crescimento de duas cultivares de café durante o primeiro ano em experimento FACE ("Free Air Carbon Dioxide Enrichment") / Regiane Iost. - Botucatu : [s.n.], 2013
xi, 77 f. : il., fots. color., tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013
Orientadora: Raquel Ghini
Inclui bibliografia

1. Café. 2. Café - Aspectos ambientais. 3. Café - Fatores climáticos. 4. Dióxido de carbono. I. Ghini, Raquel. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

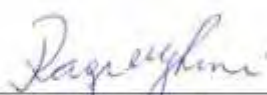
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

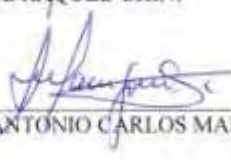
TÍTULO: "PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS E CRESCIMENTO DE DUAS
CULTIVARES DE CAFÉ DURANTE O PRIMEIRO ANO EM
EXPERIMENTO FACE ("Free Air Carbon Dioxide Enrichment")"

ALUNA: REGIANE IOST

ORIENTADORA: PROFA. DRA. RAQUEL GHINI

Aprovado pela Comissão Examinadora


PROFA. DRA. RAQUEL GHINI


PROF. DR. ANTONIO CARLOS MARINGONI


PROFA. DRA. FLÁVIA RODRIGUES ALVES PATRÍCIO

Data da Realização: 27 de fevereiro de 2013.

Aos meus pais, Maria Helena e Rodi Lial, pelo apoio incontestável e dedicação em todos
os momentos de minha vida.

Às minhas irmãs, Raquel e Rosilene, e aos meus cunhados, Kiko e Guilherme, pelo apoio
incondicional e amizade sincera.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos Espíritos de Luz pela conquista;
À minha orientadora Dra. Raquel Ghini pelos ensinamentos, conselhos, amizade e paciência;
À UNESP/FCA, pela chance de realização do curso;
À Embrapa Meio Ambiente pela infraestrutura na condução dos experimentos;
Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de estudos concedida durante a realização do curso;
Aos professores do Programa de Proteção de Plantas, pela amizade e aprendizado nas disciplinas;
Ao pesquisador Dr. Wagner Bettiol pelas sugestões, apoio e amizade;
Aos pesquisadores, Dra. Flávia Rodrigues Alves Patrício, Dr. Antonio Carlos Maringoni, Dr. André Torre Neto e Dr. Oliveira Guerreiro Filho pelas sugestões e amizade;
Aos colegas da Pós-Graduação, do Instituto Agrônomo, do Instituto Biológico e do Laboratório de Microbiologia Ambiental da Embrapa Meio Ambiente, em especial, Daniel, Michelli, Wallace, Zayane, Fernanda, Cassiano, Carlos, Maria Fernanda, Adriana, Joyce, Alex, Denise, Carol e Bia, pelo convívio, amizade e incentivos em todos os momentos;
Aos técnicos do Laboratório de Microbiologia Ambiental da Embrapa Meio Ambiente (Anamaria, João, Roseli, Márcia e Elke) e do campo experimental da Embrapa Meio Ambiente (Henrique e João Paulo), pela colaboração na condução dos experimentos;
Aos amigos que sempre me apoiaram em especial Jussara;
Meu agradecimento em especial a todas as pessoas cujos nomes foram omitidos, mas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“A chave que abre a porta para as grandes ambições se realizarem está oculta nos pequenos afazeres, tão pequenos que normalmente os desconsideramos, comparando-os ao grande panorama que é desejável”

Oscar Quiroga

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XII
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1. Mudanças climáticas	8
4.1.1. Histórico das mudanças climáticas	8
4.1.2. Impacto das mudanças climáticas sobre doenças e pragas de plantas	10
4.1.3. Efeito do CO ₂ sobre doenças e pragas de plantas.....	17
4.2. A cultura do café.....	21
4.2.1. História da cafeicultura	21
4.2.2. Aspectos agrônômicos da cultura do café.....	23
4.2.3. Doenças e pragas do cafeeiro.....	24
4.3. Ferrugem do cafeeiro	25
4.3.1. Sintomatologia	25
4.3.2. Etiologia.....	26
4.3.3. Epidemiologia e danos.....	26
4.4. Cercosporiose do cafeeiro	27
4.4.1. Sintomatologia	28
4.4.2. Etiologia.....	28
4.4.3. Epidemiologia e danos.....	29
4.5. Bicho-mineiro do cafeeiro	29
4.5.1. Descrição do inseto	29
4.5.2. Biologia do inseto	30
4.5.3. Epidemiologia e danos.....	31
5. MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1. Caracterização do experimento FACE.....	34
5.2. Caracterização das cultivares.....	38

5.2.1. Catuaí Vermelho IAC 144	38
5.2.2. Obatã IAC 1669-20	38
5.3. Avaliações realizadas em campo	39
5.3.1. Características de crescimento do cafeeiro	40
5.3.2. Ferrugem e cercosporiose do cafeeiro	40
5.3.3. Bicho-mineiro do cafeeiro	41
5.3.4. Análise estatística	41
5.4. Experimentos em laboratório	41
5.4.1. Ferrugem do cafeeiro	41
5.4.1.1. Avaliações	42
5.4.2. Cercosporiose do cafeeiro	43
5.4.2.1. Avaliações	44
5.4.3. Bicho-mineiro do cafeeiro	44
5.4.3.1. Avaliações	46
5.4.4. Análise estatística	46
6. RESULTADOS	47
6.1. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre o crescimento de plantas de café em condições de campo	47
6.2. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre problemas fitossanitários do cafeeiro em condições de campo	53
6.2.1. Ferrugem	53
6.2.2. Cercosporiose	54
6.2.3. Bicho-mineiro	56
6.3. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre problemas fitossanitários do cafeeiro em condições de laboratório	58
6.3.1. Ferrugem	58
6.3.2. Cercosporiose	59
6.3.3. Bicho-mineiro	60
7. DISCUSSÃO	64
7.1. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre o crescimento de plantas de café em condições de campo	64
7.2. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre problemas fitossanitários do cafeeiro em condições de campo	65

7.3. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre problemas fitossanitários do cafeeiro em condições de laboratório.....	67
8. CONCLUSÕES.....	69
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Parcela do experimento FACE no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente.	35
Figura 2: Estação meteorológica localizada no centro de cada parcela.	37
Figura 3: Frequência percentual de observações de valores horários (7 às 17 horas) das concentrações de CO ₂ obtidas nas parcelas tratadas e não tratadas durante o primeiro ano de injeção do gás.....	37
Figura 4: Esquema de uma parcela com as marcações das plantas. Os círculos indicam as plantas que foram avaliadas.....	39
Figura 5: Discos foliares inoculados com <i>Hemileia Vastatrix</i> e acondicionados em bandeja vedada com vidro.....	42
Figura 6: Câmara úmida onde foram acondicionadas as folhas de café inoculadas com <i>Cercospora coffeicola</i>	43
Figura 7: Folha de café com discos de meio de cultura contendo micélio de <i>Cercospora coffeicola</i>	44
Figura 8: Gaiola de criação de insetos utilizada para infestação artificial de folhas de café localizada no insetário do IAC.	45
Figura 9: Imagem em lupa de um disco foliar antes da retirada do excesso de ovos.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Esquema das avaliações realizadas durante o primeiro ano de experimento.	40
Tabela 2: Número médio de folhas por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	48
Tabela 3: Número médio de nós por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	49
Tabela 4: Altura média por planta, em centímetros, das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	50
Tabela 5: Número médio de ramos por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	51
Tabela 6: Diâmetro médio do colo por planta, em milímetros, das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	52
Tabela 7: Incidência de ferrugem avaliada pela porcentagem média de folhas lesionadas por planta da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	53
Tabela 8: Incidência de cercosporiose avaliada pela porcentagem média de folhas lesionadas por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	55
Tabela 9: Incidência de bicho-mineiro avaliada pela porcentagem média de folhas lesionadas por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	57
Tabela 10: Severidade de ferrugem avaliada pela porcentagem média da área do disco foliar lesionada da cultivar Catuaí Vermelho (IAC – 144) em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	58
Tabela 11: Esporulação avaliada pela média de esporos por disco foliar da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO ₂ do ar.	59
Tabela 12: Severidade de cercosporiose avaliada pela porcentagem média da área foliar lesionada das cultivares Catuaí Vermelho IAC – 144 e Obatã IAC 1669-20 em folhas	

obtidas de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar..... 60

Tabela 13: Severidade de bicho-mineiro avaliada pela porcentagem média da área do disco foliar lesionada das cultivares Catuaí Vermelho IAC – 144 e Obatã IAC 1669-20 em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar..... 61

Tabela 14: Viabilidade média dos ovos de *Leucoptera coffeella* por disco foliar das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar. 62

Tabela 15: Período de incubação dos ovos de *Leucoptera coffeella* das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.63

1. RESUMO

O clima do planeta vem se alterando gradativamente nas últimas décadas em consequência da intensificação das atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra, que são responsáveis por alterações em diversos componentes do ambiente, como o dióxido de carbono (CO_2), o ozônio (O_3) e a radiação ultravioleta-B (UV-B). Considerando que o CO_2 é o gás de efeito estufa que tem maior destaque devido ao maior volume de emissões, os efeitos do aumento da concentração de CO_2 do ar (duas condições: ambiente e elevada em relação à concentração de CO_2 do ar) foram avaliados sobre os problemas fitossanitários e o crescimento de plantas jovens de café em duas cultivares (Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20) durante o primeiro ano de injeção do gás em FACE (“Free Air Carbon Dioxide Enrichment”). O experimento foi realizado no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, (latitude $22^\circ 71' 90''\text{S}$, longitude $47^\circ 02' 10''\text{W}$, altitude de 570 m), sendo composto por 12 parcelas octogonais com laterais de quatro metros e 10 metros de diâmetro. A injeção de CO_2 é feita no período diurno, das 7 às 17h, em seis parcelas por meio de bicos injetores localizados nos lados das parcelas a 0,5m de altura do solo. A injeção só é feita com ventos entre 0,5 e 4,5 m/s controlada por meio de válvulas. O monitoramento e o controle do sistema são realizados por uma rede de comunicação sem fio. O aumento da concentração de CO_2 do ar não teve efeito sobre o crescimento das plantas jovens de café para as duas cultivares para as variáveis: número total de folhas, número total de ramos e diâmetro do colo. Apenas o número total de nós e a altura das plantas apresentaram diferenças significativas quanto ao tratamento com CO_2 ; as duas cultivares em condições de concentração elevada de CO_2 e a

cultivar Obatã em condição ambiente de CO₂ apresentaram maior número total de nós e maior altura que a cultivar Catuaí em condições de concentração ambiente de CO₂. O aumento da concentração de CO₂ do ar não teve efeito na incidência de ferrugem para a cultivar Catuaí. Em condições de concentração elevada de CO₂, a cultivar Obatã apresentou maior incidência de cercosporiose que a mesma cultivar em condição de concentração ambiente de CO₂. Não houve diferença significativa na incidência de bicho-mineiro para as duas cultivares. Os problemas fitossanitários constatados no FACE foram testados em condições de laboratório em discos foliares e folhas destacadas obtidos de plantas desenvolvidas nas parcelas dos tratamentos em campo. A severidade de ferrugem foi maior em discos foliares obtidos de plantas da cultivar Catuaí desenvolvidas em condição de concentração ambiente de CO₂ do que em discos foliares obtidos de plantas da mesma cultivar desenvolvidas em condição de concentração elevada de CO₂. O período de incubação dos ovos de bicho-mineiro foi maior em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição de concentração elevada de CO₂ do que em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição de concentração ambiente de CO₂ e, em discos foliares da cultivar Catuaí do que em discos foliares da cultivar Obatã. Não houve diferença significativa no número médio de esporos de ferrugem, na severidade e viabilidade dos ovos de bicho-mineiro e na severidade de cercosporiose. O presente trabalho terá continuidade e novas avaliações serão realizadas por um maior período, aliando ao efeito do CO₂ outros fatores do ambiente, como precipitação.

Palavras-chave: dióxido de carbono, café, doenças, pragas, mudanças climáticas.

PHYTOSANITARY PROBLEMS AND GROWTH OF TWO CULTIVARS OF COFFEE DURING THE FIRST YEAR EXPERIMENT IN FACE ("Free Air Carbon Dioxide Enrichment"). Botucatu, 2013. 77 p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Author: REGIANE IOST

Adviser: RAQUEL GHINI

2. SUMMARY

The earth's climate has been changing gradually over the last decades as a result of the intensification of human activities such as burning fossil fuels and changes in land use, which are responsible for changes in various components of the environment, such as carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃) and ultraviolet B (UV-B). Considering that CO₂ is the greenhouse gas that is more prominent due to higher emissions, the effects of increasing the concentration of CO₂ in the air (two conditions: environment and high relative concentration of CO₂ air) were evaluated on the phytosanitary problems and growth young coffee plants in both cultivars (Catuai Vermelho IAC 144 and Obatã IAC 1669-20) during the first year of gas injection in FACE ("Free Air Carbon Dioxide Enrichment"). The experiment was conducted at the experimental field of Embrapa Environment in Jaguariuna, (latitude 22°71'90" S, longitude 47°02'10"W, altitude 570 m), comprising 12 plots octagonal side four meters and 10 meters in diameter. The CO₂ injection is made during the day, from 7 to 17h, in six installments through nozzles located on the sides of the plots at 0.5 m height from the ground. The injection is made only with winds between 0.5 and 4.5 m/s controlled by valves. The monitoring and control system are realized by a network of wireless communication. The increased concentration of CO₂ in the air had no

effect on the growth of young coffee plants for both cultivars for the variables total number of leaves, total number of branches and diameter of the stem of each plant. Only the total number of nodes and plant height showed significant differences in treatment with CO₂, the two cultivars under conditions of elevated CO₂ concentration and cultivate Obatã environment condition of CO₂ had higher total number of nodes and a greater height than Catuaí under conditions of ambient concentration of CO₂. The increase of the CO₂ concentration of the air had no effect on rust incidence for Catuaí. In conditions of high concentration of CO₂, the Obatã cultivar showed higher incidence of cercospora leaf spot than the same cultivar on condition of ambient concentration of CO₂. There was no significant difference in the incidence of leaf miner for both cultivars. The disease problems observed in FACE were tested under laboratory conditions in leaf discs and detached leaves obtained from plants grown in plots of treatments in the field. The rust severity was higher in leaf discs obtained from plants grown in the Catuaí condition ambient concentration of CO₂ than in leaf discs obtained from the same cultivar developed in conditions of high concentration of CO₂. The incubation period of eggs miner was higher in leaf discs obtained from plants grown in conditions of high concentration of CO₂ than in leaf discs obtained from plants grown in conditions of ambient concentration of CO₂, and leaf discs of Catuaí than in leaf disks of cultivate Obatã. There was no significant difference in the average number of spores of rust severity and egg viability of leaf miner and severity of cercospora leaf spot. This work will continue and new evaluations will be conducted for a longer period, combining the effect of CO₂ other environmental factors such as precipitation.

Keywords: carbon dioxide, coffee, diseases, pests, climate change.

3. INTRODUÇÃO

Atualmente, as mudanças climáticas representam uma das maiores ameaças para a humanidade, já que podem gerar graves problemas sociais, econômicos e ambientais. Nas últimas décadas, suas causas e consequências vêm sendo estudadas por diversos segmentos da sociedade. E, é possível que, mesmo que as emissões de gases de efeito estufa sejam reduzidas drasticamente nas próximas décadas, as mudanças ocorridas pelas emissões do passado já sejam suficientes para alterar o clima global no futuro.

Os primeiros estudos sobre o assunto tiveram início nas geleiras polares a partir de pesquisas realizadas em bolhas de ar que foram retiradas de diversas profundidades para análise dos gases presentes nas mesmas. Os dados obtidos demonstraram alta correlação entre mudanças na temperatura do planeta e concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Nos últimos 800 mil anos, a concentração de dióxido de carbono (CO₂) não excedeu 300 ppm (SIEGENTHALER et al., 2005; LÜTHI et al., 2008).

Desde a época pré-industrial, os níveis de concentração de CO₂ atmosférico aumentaram de 180 ppm para 300 ppm, em 2005 (MARENGO, 2001; IPCC, 2007). A concentração de metano aumentou de 715 ppm na era pré-industrial para 1774 ppm, em 2005; o óxido nitroso aumentou de 270 para 319 ppb em 2005 e os clorofluorcarbonetos, que não existiam na atmosfera, atingiram elevadas concentrações. As projeções são que o CO₂ atinja 540 ppm a 970 ppm por volta de 2100, representando um aumento de 75% a 350% em relação ao período anterior à revolução industrial (IPCC,

2007). Como consequência, nos anos de 1998 e 2005 foram registradas as maiores temperaturas médias anuais do planeta. De acordo com o relatório do IPCC (2007) poderá haver um aquecimento médio global entre 1,8 °C e 4,0 °C até 2100.

As atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis e a mudança no uso da terra, estão contribuindo para o aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, alterando o balanço radiativo e causando o aquecimento global. A sociedade terá que rever o seu padrão de consumo, atualmente insustentável e baseado na elevada emissão de gases de efeito estufa. A economia precisará ter outros alicerces do que aqueles baseados no crescimento econômico, a todo custo e insaciável, o que resulta em muitas vezes na exaustão de recursos naturais, estes finitos.

Até o presente momento já foram observados indícios de aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, alteração no regime de chuvas, secas e outros padrões do tempo, perturbações nas correntes marítimas, derretimento de geleiras, menor quantidade de neve no globo, alteração na composição da água, aquecimento e elevação do nível dos oceanos e mudanças na fisiologia e morfologia de diversos animais e plantas IPCC (2007).

Essas mudanças afetam direta e indiretamente as doenças e pragas de plantas. A agricultura depende diretamente dos fatores climáticos, assim mudanças no clima podem afetar o zoneamento agrícola, a produtividade e as técnicas de manejo. Tais alterações forçam os seres vivos a se adaptarem. Porém, como essas mudanças estão ocorrendo em um curto espaço de tempo, é preciso considerar se as espécies não serão eliminadas antes mesmo de se adaptarem às novas condições (GHINI et al., 2011).

Estudos demonstram que a elevação da concentração do CO₂ provoca efeitos benéficos no desenvolvimento das plantas, por promover alterações no metabolismo, crescimento e processos fisiológicos. Essa mudança pode ocasionar um efeito positivo, negativo ou neutro na ocorrência e severidade de doenças e pragas de plantas. O manejo das mesmas também pode ser alterado devido às modificações na microbiota, distribuição geográfica e interação com outros microrganismos que interagem com as plantas, (GHINI, 2005).

O café é considerado um dos principais produtos agrícolas do Brasil, o qual é o maior produtor e exportador. O cafeeiro está sujeito à incidência de várias doenças e pragas, entre elas, a ferrugem causada pelo fungo biotrófico *Hemileia vastatrix* e o bicho-mineiro, *Leucoptera coffeella*, que são, respectivamente, a principal

doença e a principal praga desta cultura. Sendo assim, o estudo dos impactos do aumento do CO₂ sobre a cultura do café é indispensável para garantir altas produtividades.

No Brasil, há relatos sobre os impactos das mudanças climáticas no cafeeiro, referentes ao zoneamento agroclimático (ASSAD et al., 2004) e às doenças e pragas (POZZA, ALVES, 2008; GHINI et al., 2008). Diante das ameaças que representam as mudanças climáticas à proteção de plantas, da complexidade dos patossistemas envolvidos e da falta de estudos mais detalhados, tornam-se necessários novos estudos sobre o assunto.

Com base nisso, o presente trabalho teve por objetivo estudar os efeitos do aumento da concentração de CO₂ do ar em experimento FACE sobre problemas fitossanitários e crescimento de plantas jovens de café e suas interações em duas cultivares - Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 - durante o primeiro ano de injeção do gás. E, em condições de laboratório, as doenças e pragas constatadas em campo foram testadas em discos foliares e folhas destacadas obtidas de plantas das parcelas dos dois tratamentos em campo para avaliar diferenças quanto à severidade.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Mudanças climáticas

4.1.1. Histórico das mudanças climáticas

As suspeitas de que as atividades humanas podem mudar o clima não são recentes. Já no século 19, muitos americanos acreditavam que a redução nas florestas no país teria sido responsável pela maior ocorrência de chuvas na região. A descoberta de idades de gelo em um passado distante provou que o clima poderia mudar radicalmente (WEART, 2008).

A ideia do “Efeito estufa”, surgiu em 1896, e já relacionava mudanças na temperatura do planeta com a queima de combustíveis fósseis. No entanto, esse fenômeno por si só não poderia ser o responsável por tantas mudanças, mas os estudos da época ainda não possibilitavam maiores conhecimentos.

Somente na década de 50, devido a um aumento acentuado de financiamento do governo, especialmente de agências militares, os cientistas puderam estudar a questão com técnicas mais avançadas. Esses novos estudos mostraram que, ao contrário do que se imaginava, o CO₂ poderia sim contribuir com o aquecimento do planeta. Meticulosas medições, em 1961, demonstraram que o nível do gás, de fato, era crescente, ano a ano.

No início dos anos 70, com a ascensão do ambientalismo, diversas dúvidas sobre os benefícios das atividades humanas para o planeta passaram a ser

levantadas. Curiosidades sobre o clima se transformaram em preocupação. Ao lado do efeito estufa, alguns cientistas apontaram que a atividade humana estava aumentando a quantidade de partículas de poeira e fumaça na atmosfera, o que poderia bloquear a luz solar e esfriar o planeta. Análises meteorológicas do Hemisfério Norte mostravam uma tendência de resfriamento desde 1940. Os meios de comunicação estavam confusos, às vezes prevendo um mundo agradável, por vezes, alertando para a perspectiva de uma nova Idade do Gelo catastrófica. Diversos estudos, primeiro nos EUA e depois em outros países, começaram a alertar que um ou outro tipo de futuras mudanças climáticas poderia representar uma grave ameaça. A única coisa que a maioria dos cientistas concordava era que pouco se conhecia sobre o sistema climático, e que mais pesquisas eram necessárias. Os estudos seguintes passaram a considerar o clima como um sistema complexo, que responde a um grande número de influências. E, que os ecossistemas interagem com o clima e com a atmosfera (WEART, 2008).

Ao final dos anos 1970 foi descoberto que os níveis de outros gases de efeito estufa também estavam aumentando, como o metano, óxido nitroso e ozônio. Alguns destes gases também degradavam a camada de ozônio. Os cientistas alertavam que o mundo deveria tomar medidas ativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Muitas especulações sobre os efeitos da agricultura e do desmatamento na adição ou subtração de CO₂ do ar passaram a ser recorrentes entre o mundo científico.

Em 1988 foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC), com o objetivo de estudar e divulgar informações técnicas e socioeconômicas e os impactos relevantes aos riscos à humanidade, visando criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais (AVILA, 2007). O quarto, e último relatório do IPCC, foi divulgado em 2007 e alertava para um aumento médio global das temperaturas entre 1,8°C e 4,0°C até 2100. Esse aumento pode ser ainda maior (6,4°C) se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis. Entretanto, a estimativa mais confiável aponta um aumento médio de 3°C, assumindo que os níveis de CO₂ se estabilizem em 45% acima da taxa atual (AVILA, 2007). O relatório aponta também, com mais de 90% de confiabilidade, que as atividades humanas são responsáveis por grande parte do aumento de temperatura observado nos últimos 50 anos (IPCC, 2007).

No quarto relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), estão relacionadas as principais alterações observadas até a data do

estudo. Entre elas, aumento do nível e temperatura dos oceanos, mudanças na temperatura do gelo do Ártico com derretimento de geleiras, mudanças na distribuição das precipitações, na salinidade dos oceanos, nos padrões de ventos, nos eventos extremos do clima, como secas, intensas precipitações, ondas de calor e intensidade dos ciclones tropicais (AVILA, 2007). Economicamente, as comunidades pobres podem ser especialmente vulneráveis, em particular aquelas concentradas em áreas de alto risco, por terem capacidades de adaptação mais limitadas e serem mais dependentes dos recursos sensíveis ao clima, como a oferta local de água e alimento. Nos locais em que os eventos climáticos extremos se tornarem mais intensos e/ou mais frequentes, os custos econômicos e sociais desses eventos aumentarão e esses aumentos serão substanciais nas áreas afetadas mais diretamente (IPCC, 2007).

Atualmente diversos estudos estão sendo realizados com o objetivo de verificar os possíveis impactos das mudanças climáticas em relação a aspectos sociais, econômicos e ambientais. A agricultura é uma atividade econômica que depende diretamente dos fatores climáticos. Qualquer alteração no clima pode afetar o zoneamento agrícola, a produtividade das diversas culturas e as técnicas de manejo, sendo assim, o estudo desses efeitos na agricultura, em especial na área de fitossanidade torna-se indispensável.

4.1.2. Impacto das mudanças climáticas sobre doenças e pragas de plantas

Os impactos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas se expressam, principalmente, na relação patógeno-hospedeiro-ambiente, na distribuição geográfica e temporal dos problemas fitossanitários e nas modalidades de controle (GHINI et al., 2008).

Na interação entre o hospedeiro suscetível, o patógeno virulento e ambiente favorável, que estabelece as condições necessárias e indispensáveis para o desenvolvimento de doenças, um determinado fator climático poderá ter efeitos positivos, em uma das partes do triângulo da doença, e negativos, em outra (GHINI, 2005).

A natureza da planta hospedeira (por exemplo, anual ou perene; metabolismo do tipo C_3 ou C_4) e do patógeno (veiculado pelo solo ou da parte aérea, biotrófico ou necrotrófico) definem como a relação será afetada. Muitas modificações na fisiologia das plantas poderão alterar os mecanismos de resistência de cultivares obtida por

métodos tradicionais ou por engenharia genética. Vários trabalhos comprovam tais alterações, como aumentos significativos das taxas de fotossíntese, produção de papilas, acúmulo de silício em locais de penetração dos apressórios, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, mais cera, camadas adicionais de células da epiderme, aumento da quantidade de fibras, redução da concentração de nutrientes e alteração na produção de enzimas relacionadas com a resistência (MANNING & TIEDMANN, 1995). As alterações fisiológicas causadas pelo aumento da concentração de CO₂ do ar nas plantas incluem mudança no teor de proteínas solúveis e lipídeos da membrana, da estrutura e das propriedades químicas da superfície foliar, como alterações no teor das ceras e flavonoides (EASTBURN et al., 2011).

As mudanças climáticas afetam diretamente os patógenos de plantas na sua fase de sobrevivência. Os mais afetados são os patógenos de plantas que necessitam suportar longos períodos de tempo sem tecido da planta hospedeira disponível. É essa fase que garante a presença de inóculo para o ciclo seguinte da doença. As condições durante a estação de inverno são importantes para determinar o sucesso da sobrevivência saprofítica de diversos patógenos (GHINI, 2005). A temperatura do solo, por exemplo, afeta diversos microrganismos que nele habitam, tanto patogênicos quanto benéficos, como aqueles que conferem supressividade de solos a patógenos (LANDA et al., 2001). Fungos micorrízicos, microrganismos endofíticos e os fixadores de nitrogênio também poderão sofrer os efeitos das mudanças climáticas, acarretando alterações na severidade de doenças (GHINI, 2005).

Segundo Pritchard (2011), vários estudos são necessários para desenvolver uma compreensão mais holística dos efeitos das mudanças climáticas sobre os processos subterrâneos, pois as mudanças climáticas vão influenciar organismos do solo tanto diretamente, quanto indiretamente, com o aquecimento do solo associado à elevação de CO₂ atmosférico. A entrada de carbono no solo poderá ser alterada qualitativamente e quantitativamente, podendo ocasionar mudanças no crescimento, na estrutura e na fisiologia das plantas. De acordo com o autor, atmosfera com elevada concentração de CO₂ normalmente estimula o fluxo de carbono orgânico no sistema do solo, aumenta a produção de raiz e exsudação, mas diminui a qualidade da serapilheira. Fungos micorrízicos e fixadores de nitrogênio são geralmente beneficiados pelo enriquecimento com CO₂, mas os efeitos do aquecimento são altamente variáveis.

Aspectos fundamentais do solo para a atividade microbiana sofrerão modificações, como a disponibilidade de nutrientes, o aumento da temperatura e, dependendo da região, a redução na umidade do solo. Além disso, a quantidade de nitrogênio que é introduzida nos sistemas naturais e no agroecossistema por meio de fertilizantes e poluentes pode causar significativos impactos na microbiota (NOSENGO, 2003).

Grüter et al. (2006), concluíram que a exposição do ambiente à concentração de 600 ppm de CO₂ não alterou quantitativamente a comunidade de bactérias do solo. Entretanto, os mesmos autores concluíram que um dos possíveis efeitos das mudanças climáticas é sobre a diversidade de plantas, o que resulta em alterações da composição bacteriana do solo (tipos de bactérias e frequência de ocorrência).

Rezácová et al. (2005), avaliando os efeitos sobre fungos saprófitas, observaram que *Clonostachys rosea*, importante agente de controle biológico de *Botrytis* e outros patógenos, e *Metarhizium anisopliae*, um dos mais importantes entomopatógenos usados para o controle de insetos-praga, mostraram-se fortemente associados com a cultura de trevo em ambiente com alta concentração de CO₂. Os autores sugeriram que a abundância dessas espécies de fungos pode indicar aumento da supressividade do solo a fungos fitopatogênicos e outras pragas.

Bradshaw e Holzapfel (2006), afirmaram que o aquecimento climático é responsável por alterações nas populações quanto aos ciclos de vida, isto é: desenvolvimento, reprodução, dormência e migração. Os microrganismos que apresentam curtos ciclos de vida e grandes populações, provavelmente, se adaptarão rapidamente. Entretanto, não se tem conhecimento da forma que será a nova estrutura e funcionamento das interações entre hospedeiro-patógeno-agentes de biocontrole-ambiente.

Os cenários climáticos futuros, de modo geral, indicam um aumento da temperatura, o qual, certamente, alterará a resposta das plantas às doenças, seja devido à própria composição genética do hospedeiro, seja por alterações causadas na comunidade de organismos que induzem resistência (GHINI et al., 2008).

Ribeiro et al. (1978), verificaram que houve redução do desenvolvimento de uredósporos em folhas de cultivar suscetível de café inoculadas com *Hemileia vastatrix* e tratadas por 4 h, a 40 °C, durante quatro dias consecutivos.

As mudanças climáticas afetarão diretamente os microrganismos fitopatogênicos quanto a sua distribuição geográfica, ocorrência e severidade, dispersão de

propágulos e sobrevivência (GHINI et al., 2011). Por um lado, o aumento da umidade pode favorecer a produção de esporos; por outro lado, condições de baixa umidade podem favorecer doenças como os oídios. A dispersão de propágulos pode ser afetada pelo aumento da precipitação pluviométrica. Os ventos também exercem importante papel na disseminação de propágulos, tanto à curta como à longa distância. Fatores relacionados à turbulência do ar, intensidade e direção dos ventos podem influenciar a liberação, o transporte e a deposição do inóculo (BROWN; HOVMOLLER, 2002).

O zoneamento agroclimático da planta hospedeira poderá ser alterado, da mesma forma que, os patógenos e outros microrganismos relacionados com o processo de doença. Assim, em determinadas regiões, novas doenças poderão surgir e outras perder a importância econômica, especialmente se a planta hospedeira migrar para novas áreas (GHINI, 2005; GHINI et al., 2011).

Assad et al. (2004), a partir das indicações do segundo relatório do IPCC, simularam e avaliaram os impactos que um aumento na temperatura média do ar de 1°C, 3°C e 5,8°C e um incremento de 15% na precipitação pluvial teriam na potencialidade da atual cafeicultura brasileira. Os resultados indicaram uma redução de área apta para a cultura superior a 95% em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e de 75% no Paraná, no caso de um aumento na temperatura de 5,8 °C. No entanto, os autores ressaltam que esses resultados são válidos se mantidas as atuais características genéticas e fisiológicas das cultivares de café arábica utilizadas no Brasil, que têm como limite de tolerância temperaturas médias anuais entre 18°C e 23°C.

Com o aquecimento global (aumento nas temperaturas mínimas e máximas e da precipitação no verão), Brasier (1996) previu que a ocorrência de *Phytophthora cinnamomi* e a sobrevivência do patógeno em carvalho (*Quercus* spp) vão aumentar, assim como a gama de plantas hospedeiras. Poderá haver aumento significativo da atividade patogênica e das áreas contaminadas. Entre os fatores responsáveis pelo aumento da importância da doença devido às mudanças climáticas, os autores citam a possibilidade de disseminação para novas áreas, maior período favorável para produção de inóculo e infecção, maior taxa de disseminação e sobrevivência em raízes e no solo, além de maior predisposição da planta.

Utilizando um modelo que relaciona a temperatura do floema e a probabilidade de infecção de árvores durante o inverno, Bergot et al. (2004) simularam os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a disseminação de *Phytophthora*

cinnamomi em carvalho. O modelo simula o impacto da temperatura na sobrevivência de *P. cinnamomi* no interior da casca de árvores infectadas. Esta sobrevivência, por hibernação, é considerada um pré-requisito para a capacidade do agente patogênico em causar um cancro perene em troncos de carvalho. Os autores concluíram que haverá um aumento na taxa anual de sobrevivência do patógeno, resultando em maior disseminação da doença devido a uma tendência de aquecimento de aproximadamente 1,8 °C para a temperatura média durante o período de inverno.

Ghini et al. (2007) verificaram o risco das mudanças climáticas sobre a sigatoka-negra da bananeira, causada por *Mycosphaerella fijiensis*, por meio da elaboração de mapas de distribuição da doença, confeccionados a partir dos cenários e dados dos GCM (General Circulation Models), disponibilizados pelo IPCC (2001). Os autores concluíram que haverá redução da área favorável à doença no Brasil. No entanto, segundo os autores, extensas áreas ainda continuarão favoráveis à ocorrência da doença.

Ghini et al. (2008), utilizando o mesmo banco de dados climáticos usado por Ghini et al. (2007) avaliaram os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a distribuição espacial de nematóides (raças 1 e 2 de *Meloidogyne incognita*) e do bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) da cultura de café. Os resultados indicam que poderá haver aumento na infestação, tanto do nematoide quanto da praga, pelo maior número de gerações por mês quando se compara com a normal climatológica de 1961-1990.

Indiretamente as mudanças climáticas afetarão outros organismos que interagem com o patógeno e a planta hospedeira. Doenças que requerem insetos ou outros vetores poderão apresentar uma nova distribuição geográfica ou temporal, que será resultante da múltipla interação ambiente-planta-patógeno-vetor. Aumentos na temperatura ou incidência de secas poderão estender a área de ocorrência da doença para regiões onde o patógeno e as plantas estarão presentes, mas o vetor ainda não atuava (GHINI et al., 2011).

Ainda são poucos os casos comprovados de alteração na ocorrência de problemas fitossanitários em decorrência das mudanças climáticas. Isso se deve à ausência de séries históricas de problemas fitossanitários e à necessidade de registro de mudança na ocorrência de pragas ou doenças por um período relativamente longo e com correlação com alguma variável climática alterada em decorrência das mudanças climáticas. Além disso, outros fatores, além do clima, causam flutuações nas populações de patógenos e pragas, como por exemplo, tratos culturais, nutrição das plantas, cultivares

utilizadas, entre outros, dificultando a correlação entre as mudanças climáticas e os problemas fitossanitários.

Woods et al. (2005), estudaram o caso de *Dothistroma septosporum*, agente causal da queima-das-acículas em *Pinus contorta* var. *latifolia*, nas florestas de British Columbia, Canadá. O primeiro relato da doença data do início dos anos 1960, sendo que entre 1984 e 1986 foram observadas árvores com sintomas da queima-das-acículas em 10 ha. Mais recentemente os autores avaliaram uma área de 40,898 ha e observaram que 37,664 ha apresentavam plantas infectadas, com árvores mortas em 2,741 ha. Os autores afirmam que a epidemia coincidiu com o aumento da frequência de chuvas de verão na região.

Kurz et al. (2008), relataram que epidemias do besouro *Dendroctonus ponderosae*, causadas por alterações de precipitação pluviométrica e aumento da temperatura, estão resultando no aumento de emissões de gases de efeito estufa devido à redução da floresta. O inseto parasita as árvores, levando-as à morte e à decomposição, liberando o carbono para a atmosfera. Com as mudanças climáticas traduzidas pelo aumento da temperatura e redução das chuvas, houve o aumento da área favorável ao desenvolvimento da praga e as projeções indicam que o crescimento da floresta não será suficiente para compensar a quantidade de emissões.

Dobbertin et al. (2007), relataram com base em séries climáticas históricas da região e a incidência de declínio nas árvores, que o declínio do *Pinus sylvestris* nos Alpes italianos e suíços estava relacionado com a seca que predispôs as árvores ao ataque de besouros e às altas temperaturas da primavera e do verão que favoreceram o desenvolvimento dos insetos, os quais contribuíram para a alta taxa de mortalidade das árvores.

Hannukkala et al. (2007), utilizando dados de 69 anos de incidência de *Phytophthora infestans* agente causal da requeima da batata na Finlândia, associaram epidemias da doença com as mudanças no clima (temperatura e precipitação), presença de inóculo no solo, agressividade das populações do patógeno e ausência de rotação de culturas. Os autores concluíram que o clima tornou-se mais favorável à doença no final da década de 90, devido a maior frequência de chuvas e temperaturas mais elevadas. E, que a falta de rotação de culturas agravou o problema, resultando em um aumento na venda de fungicidas de, aproximadamente, quatro vezes, de 1980 a 2002.

Com relação ao controle de doenças e pragas, todas as modalidades de controle serão de alguma forma afetada pelas condições climáticas. Mudanças na temperatura e precipitação pluviométrica poderão alterar a dinâmica de resíduos de fungicidas na parte aérea das plantas e a degradação dos produtos poderá ser modificada. Alterações na morfologia ou fisiologia das plantas resultantes do crescimento em atmosfera com maior concentração de CO₂ ou diferentes condições de temperatura e precipitação poderão afetar a absorção, a translocação e o metabolismo de fungicidas sistêmicos. Além disso, as mudanças no crescimento das plantas poderão alterar o período de maior suscetibilidade das plantas aos patógenos, o que poderá determinar um novo calendário de aplicação de fungicidas.

O principal impacto das mudanças climáticas sobre o controle químico deverá ser de ordem cultural. Certamente, aumentarão as pressões da sociedade pelo uso de métodos não químicos para o controle de doenças de plantas (GHINI et al., 2011).

Quanto ao controle biológico de doenças e pragas de plantas não há praticamente informações sobre os impactos das mudanças climáticas. De acordo com Juroszek et al. (2011), em geral, o impacto sobre os antagonistas é devido à fatores de interação, tais como várias espécies de plantas, tipo de solo, temperatura do solo, umidade e disponibilidade de nutrientes. Em alguns casos os antagonistas são favorecidos, em outros, pode ocorrer o contrário (PRITCHARD, 2011).

As mudanças climáticas serão benéficas para o controle biológico, tanto natural, quanto o introduzido, pois as atenções da sociedade para os problemas ambientais exigirão medidas que minimizem o lançamento de poluentes. Com isso, o equilíbrio biológico dos sistemas agrícolas será beneficiado levando a um aumento da complexidade do sistema e conseqüentemente, ao controle biológico (GHINI et al., 2008).

Quanto às pragas, os principais efeitos do aumento do CO₂ provavelmente se referem às alterações bioquímicas das plantas que resultarão em modificações na qualidade nutricional dos tecidos. O aumento da relação C/N pode alterar o hábito alimentar de insetos, aumentando o consumo devido às necessidades de nitrogênio. A falta desse nutriente pode levar a alterações na taxa de crescimento, sobrevivência e fecundidade da praga (PRITCHARD & MASTHOR, 2005).

Os impactos negativos das mudanças climáticas poderão ser minimizados devido à plasticidade de alguns sistemas agrícolas e com a adoção de novas

cultivares ou outras práticas de manejo. Porém, os países em desenvolvimento provavelmente terão maiores dificuldades de adaptação às mudanças climáticas, devido ao menor desenvolvimento tecnológico e aos poucos recursos disponíveis para a adoção de medidas.

De acordo com Ghini et al. (2011), devido à complexidade dos processos envolvidos e suas inter-relações, as pesquisas de avaliação dos efeitos de mudanças climáticas sobre doenças e pragas de plantas devem ser realizadas de forma interdisciplinar e, preferencialmente, em programas internacionais.

4.1.3. Efeito do CO₂ sobre doenças e pragas de plantas

O CO₂ é o gás de efeito estufa que tem maior destaque devido ao maior volume de emissões. O CO₂ além de atuar como gás de efeito estufa aumentando a temperatura terrestre, pode causar impactos diretos e indiretos nos agro-ecossistemas e, em particular, na incidência e severidade de doenças e pragas de plantas. O aumento do CO₂ pode modificar a estrutura da parte aérea da planta, alterando a fisiologia e a morfologia da planta hospedeira e atuar de maneira isolada no patógeno ou no hospedeiro, como também na sua interação (GHINI, 2005).

Em geral a capacidade fotossintética, o uso da água, a eficiência no crescimento e a produção são positivamente afetadas pela elevação de CO₂. A maior eficiência fotossintética promove um fornecimento adicional de hidratos de carbono, que resulta em maiores níveis de amido e de açúcar no tecido foliar. O número de estômatos, a abertura estomática e a produção e composição da cera foliar também são afetadas pelo nível de CO₂, sendo que essas mudanças provavelmente alteram a relação patógeno-hospedeiro. Em condições de elevado CO₂ há um maior acúmulo de biomassa, aumento do número de folhas, área foliar, tamanho e densidade da copa, o que pode alterar a temperatura do dossel e unidade do microclima o que pode promover doenças fúngicas (HIBBERD et al., 1996; CHAKRABORTY et al., 2000; OSSWALD et al. 2006).

O aumento da taxa fotossintética, induzido pelo aumento da concentração de CO₂, possivelmente permite maior mobilização de recursos para o aumento da resistência da planta à penetração inicial do patógeno, como a produção de papilas e acúmulo de silício nos locais de penetração do apressório (MANNING & TIEDEMANN 1995).

Um dos poucos trabalhos realizados com o objetivo de verificar os efeitos do aumento da concentração de CO₂ no controle de doenças por meio do uso de variedades resistentes foi desenvolvido por Paoletti e Leonardo (2001) para um clone de cipreste, *Cupressus sempervirens*, resistente ao cancro, causado por *Seiridium cardinale*. Os autores concluíram que a resistência genética da planta não é alterada mesmo quando a mesma é cultivada em ambiente com elevado teor de CO₂, visto que, condição de aumento de CO₂ pode aumentar o tamanho e a densidade do dossel da planta, resultando em uma biomassa maior e de alta qualidade nutricional, combinada com um microclima com maior umidade relativa do ar, que pode promover doenças de plantas.

Um trabalho com oídio em *Arabidopsis thaliana* (planta herbácea) resultou no aumento do estabelecimento de colônias do patógeno em folhas em ambiente com aumento de CO₂. No entanto, as respostas foram diferentes para cada tipo de hospedeiro: resistente ou suscetível. Em condições de CO₂ elevado, a densidade de estômatos aumentou nos hospedeiros resistentes e diminuiu nos suscetíveis (LAKE & WADE, 2009).

Em experimentos com plantas sadias de cevada, Hibberd et al. (1996) demonstraram que as mesmas quando submetidas a 700 ppm de CO₂ apresentavam maior crescimento. A inoculação de *Erysiphe graminis*, agente causal do oídio, resultou em redução da taxa de crescimento, a qual foi transitória, para plantas cultivadas com 350 ppm de CO₂ e altamente significativa para as cultivadas em 700 ppm de CO₂. Em condição de atmosfera enriquecida com CO₂ houve aumento nas taxas de crescimento e fotossintética da cevada, e redução das mesmas com a inoculação do fitopatógeno.

Devido à importância econômica para a Austrália da antracnose, Chakraborty et al. (2000), realizaram um estudo sobre o efeito de 350 e 700 ppm de CO₂ sobre a produção e dispersão de esporos de *Colletotrichum gloeosporioides* em *Stylosanthes scabra*. Os componentes epidemiológicos da doença foram avaliados em duas cultivares, uma parcialmente resistente e outra suscetível, em condições controladas e no campo. Em ambiente controlado, o aumento do teor de CO₂ promoveu maior crescimento das plantas, mas não foi suficiente para compensar a redução de crescimento resultante da ocorrência da antracnose na cultivar mais resistente. Já na suscetível, houve a compensação. De acordo com os autores, os benefícios da fertilização com CO₂ no crescimento dependem da natureza da resistência da planta. Em ambiente controlado com elevado teor de CO₂ também foi observado atraso no crescimento do tubo germinativo e

apressório. A porcentagem de germinação de conídios em folhas foi reduzida e o período de incubação foi estendido. Por esse motivo, a severidade da doença foi reduzida. Além disso, segundo os autores, a penetração do patógeno se dá através dos estômatos, e o aumento de CO₂ reduz a densidade de estômatos nas folhas. Por outro lado, o período latente não sofreu alteração e a produção de esporos foi significativamente superior. No experimento realizado em campo, o aumento do teor de CO₂ resultou em aumento da severidade da doença, com maior número de lesões por folha. A variável ambiental que apresentou maior correlação com a dispersão e infecção de esporos de *C. gloeosporoides* no campo foi a umidade relativa na parte aérea da planta. Dessa forma, plantas crescidas em ambiente rico em CO₂ têm maior desenvolvimento, o que favorece a deposição de maior quantidade de conídios e cria um microclima favorável para o rápido desenvolvimento da doença. Os resultados evidenciaram que há diferenças significativas entre os ensaios conduzidos em ambientes controlados e no campo.

O efeito do CO₂ na relação patógeno-hospedeiro tem sido bastante estudado em experimentos do tipo FACE e OTC (open-top-camara). Os resultados mostram que as respostas a elevados níveis de CO₂ variam de acordo com o sistema patógeno-hospedeiro. Em alguns casos, há previsões de níveis mais altos de doenças resultantes de plantas que apresentaram maior crescimento, principalmente para patógenos necrotróficos. No entanto, existem alguns exemplos de ambos patógenos necrotróficos e biotróficos mostrando menores níveis da doença, maiores níveis da doença ou nenhum efeito do aumento concentrações de CO₂ sobre a doença (EASTBURN et al., 2011).

Em um experimento de três anos com soja, no SoyFACE em Illinois, foram estudados os níveis de severidade do míldio da soja, causado por *Peronospora manshurica*. Foram encontrados níveis menores de severidade em plantas cultivadas sob condições de elevado CO₂ do que nas cultivadas em condição ambiente de CO₂ (EASTBURN et al., 2010). Isso ocorreu porque este patógeno infecta através dos estômatos e há especulações de que elevados níveis de CO₂ podem reduzir o número de estômatos por unidade de área foliar, proporcionando assim menos sítios de infecção. Houve algumas mudanças na estrutura das ceras cuticulares nas folhas, as folhas de plantas cultivadas em ambiente de alto CO₂ apresentaram uma estrutura mais suave do que as folhas de outros tratamentos, embora a quantidade de ceras não fosse alterada. Os níveis mais elevados de CO₂ podem ter reduzido o tempo de abertura dos estômatos, o que deve ter reduzido o nível de infecção (EASTBURN et al., 2011).

Em outro experimento no SoyFACE, a infecção de *Septoria glycines*, agente causal da mancha marrom em soja foi avaliada quanto ao seu desenvolvimento (EASTBURN et al., 2010). A infecção por essa bactéria começa principalmente nas folhas inferiores, e a doença progride para cima através do dossel em condições de alta umidade e períodos prolongados de molhamento foliar. Plantas de soja cultivadas em ambiente com elevada concentração de CO₂ cresceram mais rapidamente do que as de concentração ambiente; a arquitetura da parte aérea das plantas estavam fechadas no início da temporada, e apresentavam-se mais densas ao longo da temporada. Como resultado, a doença progrediu mais rapidamente nas parcelas enriquecidas com CO₂ do que nas em condição ambiente (EASTBURN; MCELTRONE; BILGIN, 2011).

Em um estudo em FACE com arroz, Kobayashi et al. (2006) avaliaram os efeitos do CO₂ elevado sobre o desenvolvimento de brusone em inoculações experimentais e infecções naturais. Plantas cultivadas em condições elevadas de CO₂ mostraram um aumento da susceptibilidade para a fase de explosão da doença em dois dos três anos de estudo. O número de lesões foi maior em plantas cultivadas em parcelas enriquecidas com CO₂ em comparação às condições ambientais. Por outro lado, a elevação dos níveis CO₂ teve pouco ou nenhum efeito sobre os níveis de incidência da doença. Os níveis de incidência de ocorrência natural de queima da bainha foram maiores nas parcelas enriquecidas com CO₂. Plantas nas parcelas enriquecidas com CO₂ tiveram maior número de perfilhos, o que aumentou a probabilidade de propagação da doença.

Outro estudo em FACE avaliou a podridão da coroa de trigo e descobriu que elevado níveis de CO₂ resulta em aumento da biomassa vegetal, bem como aumento da biomassa do patógeno fúngico, *Fusarium pseudograminearum*, e aumenta o escurecimento do tronco em algumas situações (MELLOY et al., 2010). Assim, os resultados do estudo demonstraram que níveis elevados de CO₂ promovem maior crescimento de plantas, e que o crescimento levou a aumento dos níveis de doença de patógenos necrotróficos.

Em um sub-bosque no Duke FACE, em Durham, Carolina do Norte, McEltrone et al. (2005) avaliaram como condições de elevada concentração de CO₂ afetam um patógeno fúngico foliar, *Phyllosticta minima*. As pesquisas realizadas entre 2002-2004 e revelaram que a elevação do CO₂ reduziu significativamente a incidência da doença, com menos plantas e folhas infectadas por planta, em três anos consecutivos. Em condições de elevada concentração de CO₂ a severidade da doença também foi reduzida

significativamente (menor lesão/área) em plantas infectadas em todos os anos. Segundo os autores, a severidade da doença diminuiu em condição de elevada concentração de CO₂ provavelmente devido alterações químicas na folha e qualidade nutritiva reduzida, condições de CO₂ elevado reduz o nitrogênio foliar e aumenta a razão C: N, fenóis totais e taninos.

Gória (2009), trabalhando em OTC com brusone do arroz, avaliou o impacto do aumento do CO₂ do ar sobre três cultivares de arroz, Agulha Precoce, Caloro e Shao Tiao Tsao. Os resultados demonstraram que a elevação do CO₂ atmosférico não teve influência na massa seca da parte aérea das plantas, na massa de grãos, na massa de panículas e na incidência de fungos nas sementes de arroz e também não exerceu influência significativa sobre características químicas e microbiológicas da rizosfera de plantas de arroz e na ocorrência de bactérias diazotróficas endofíticas nas raízes das plantas. Para as cultivares Caloro e Agulha Precoce a severidade da doença foi maior e a altura de plantas de arroz da cultivar Agulha Precoce foi maior em ambiente enriquecido com CO₂.

Em condições de sala climatizada, na qual o ambiente é controlado, a incidência e a severidade da murcha de *Ceratocystis* em clones de eucalipto (*E. urophylla* x *E. camaldulensis* e híbrido de *E. urophylla*) diminuíram com o aumento da concentração de CO₂ e a altura, o diâmetro, o peso da matéria fresca e seca da parte aérea e das raízes também aumentaram (SANTOS, 2011).

Como o desenvolvimento de cada doença depende de condições favoráveis específicas para cada patossistema, o efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico na incidência e severidade de doenças não pode ser generalizado, podendo ser positivo, negativo ou neutro (GHINI, 2005).

4.2. A cultura do café

4.2.1. História da cafeicultura

A palavra café tem origem no termo turco kahué, que significa força. Segundo historiadores, no velho reino da Abissínia, às margens do Mar Vermelho, um pastor de cabras observou que seus animais ficavam excitados após comerem os frutinhas vermelhos de um arbusto da região. Após experimentá-los descobriu seu poder

estimulante. Então, colheu alguns frutos e os levou para um convento próximo. Os monges, após ouvirem seu relato, atiraram os grãos ao fogo, alegando que aqueles eram “tentações do demônio”, devido à sua coloração vermelha e aos efeitos estimulantes que causavam. No entanto, ao queimarem, os grãos exalaram um aroma agradável, o que levou os monges a guardarem os grãos restantes e aprenderem a preparar uma bebida que passou a ser considerada uma dádiva de Deus, porque os mantinham acordados durante as noites de vigília e orações. A partir daí, surgiu o hábito de beber café, que se espalhou pelo mundo (ORMOND et al., 1999).

Os primeiros povos a fazer uso do café foram os árabes, em meados do século XV, sendo considerados os difusores do café, visto que, o cultivo e o comércio do café se desenvolveram e se espalharam rapidamente pelo Egito, Síria, Turquia e todo o Oriente. Na Europa o café já era consumido desde o final do século XVI, principalmente em Veneza, onde surgiram os cafés venezianos. No início do século 17, a Companhia das Índias Orientais já faziam o transporte de café entre os países muçulmanos do Oriente, e em 1637 o hábito de beber café chegou à Alemanha e aos Países Baixos, Na França, em 1657, a corte de Luís XIV já consumia a bebida, e logo depois apareceria em Londres a primeira casa de café. Na Alemanha, os primeiros cafés públicos surgiram em Hamburgo, de onde se originaria a mistura de café com leite e, em 1752, o café chegaria à Berlim.

Em 1706 mudas de café originárias da Malásia, Java, Sumatra, Célebes e Timor foram levadas para o Jardim Botânico de Amsterdã, das quais se originaram os primeiros cafezais da América. As primeiras sementes e mudas chegaram ao Brasil, em 1727, pelas mãos de Francisco Melo Palheta - militar capitão-tenente da guarda-costas e desbravador brasileiro conhecido como o introdutor do cultivo do café no Brasil, trazidas de sua visita à Guiana Francesa e foram plantadas em Belém (Pará) e em seguida no Maranhão. Em 1760 vieram do Maranhão para o Rio de Janeiro, expandindo-se pela encosta da Serra do Mar e atingindo em 1780 o Vale do Paraíba.

Até 1860, o sul do Rio de Janeiro manteve a hegemonia da economia cafeeira, seguido de São Paulo e Minas Gerais. A partir dessa data, São Paulo se tornou o principal centro produtor de café do país (ORMOND et al., 1999). Desde a sua chegada ao Brasil a cafeicultura desempenhou um papel fundamental na formação do país. A partir do século XIX, os rumos da economia e política nacionais estavam diretamente relacionados com o plantio e a comercialização do café. No Brasil cidades foram criadas e

povoadas com o café, costumes e hábitos foram moldados, formaram-se classes sociais, constituindo a chamada “Cultura do Café” que se faz presente em várias instâncias da nossa vida socioeconômica.

4.2.2. Aspectos agronômicos da cultura do café

O café pertence ao gênero *Coffea*, família Rubiaceae, formado por 124 espécies, em sua maioria, nativas do Continente Africano e algumas endêmicas da região que vai de Madagascar ao Oceano Índico.

O Brasil produz cerca de 24,6 milhões de sacas de café beneficiado (safra 2012-2013) e é considerado o maior produtor e exportador de café, seguido pelo Vietnã e Indonésia. Minas Gerais vem se destacando como o maior estado produtor de café do país. No sul de Minas está concentrada cerca da metade da produção do Estado (MAPA).

Os elementos climáticos que influenciam no processo de produção do café são, principalmente, a temperatura do ar e a precipitação, e em menor escala, os ventos, a umidade relativa do ar e a insolação. As temperaturas do ar, tanto altas como baixas, influenciam o crescimento, os processos fisiológicos e a produtividade do cafeeiro, sendo o ideal entre 19 e 21°C, desde que em regiões livres ou pouco sujeita a geadas. Quanto às exigências hídricas do cafeeiro, é difícil estabelecer um padrão ótimo anual de precipitação pluvial, pois depende também de outros fatores, principalmente da distribuição dessas chuvas ao longo do ano. Porém, precipitações anuais acima de 1.200 mm são suficientes para o café (THOMAZIELLO et al., 2000; MATIELLO, 1991).

De acordo com Matiello (1991), no período de vegetação e frutificação, que vai de outubro a maio, o cafeeiro exige maior disponibilidade de água e, na fase de colheita e repouso, de junho a setembro, a exigência é menor, podendo haver pequena deficiência hídrica sem grandes prejuízos para a planta. Além disso, os períodos curtos de seca podem ser importantes para o crescimento das raízes, maturação dos ramos e, principalmente, para a diferenciação floral e maturação dos frutos. Os solos mais adequados ao cultivo do cafeeiro são os profundos, porosos e bem drenados, com uma estrutura granular de tamanho médio e moderadamente desenvolvida. A textura mais favorável é a média, não sendo recomendados solos com teor de argila menor que 20% e,

quando muito argilosa, apresentar estrutura e porosidade favorável à cultura (SEDIYAMA et al., 2001).

O café é um arbusto de crescimento contínuo que apresenta um característico dimorfismo dos ramos: ramos ortotrópicos – crescem verticalmente e ramos plagiotrópicos- crescem lateralmente. Os ramos laterais, denominados primários, começam a aparecer na muda a partir do 6º ao 10º nó, crescendo continuamente e simultaneamente ao eixo principal. Ramos laterais secundários ou de ordem superior, podem aparecer no cafeeiro adulto, mas com crescimento defasado em relação ao ramo primário. Os ramos ortotrópicos e plagiotrópicos originam-se de gemas diferencialmente determinadas. Na axila de cada folha, nos eixos verticais, existe uma série linear ordenada de cinco a seis gemas, as gemas seriadas, e isolada, acima desta série, outra gema, chamada cabeça-da-série, que se forma na planta a partir do 8º ao 10º nó ou mesmo a partir do 6º nó. As gemas cabeça-de-série dão origem unicamente a ramos laterais, ao passo que as seriadas eventualmente desenvolvem-se em ramos verticais, ou ladrões. Sob altas temperaturas as gemas seriadas brotam espontaneamente, formando ramos verticais, o que dá à planta aspecto em touceiras (CARVALHO et al. 1950; RENA et al. 1986; ALVES et al., 2003; MATIELLO et al., 2005).

4.2.3. Doenças e pragas do cafeeiro

As pragas e doenças que atacam o cafeeiro são responsáveis pela redução do desenvolvimento vegetativo e perdas na produtividade e, em determinadas condições, até a morte das plantas. Esses efeitos dependem do agente etiológico, das condições climáticas e da suscetibilidade da planta (SANTINATO et al., 2008). Os principais fatores climáticos envolvidos no processo de ocorrência e desenvolvimento das doenças são temperatura, umidade, vento, luz e radiação solar. Esses fatores podem influenciar na incidência e severidade das doenças.

Dentre as doenças, a ferrugem é considerada a de maior importância seguida pela cercosporiose. Outras doenças fúngicas incluem a mancha de foma, mancha de ascoquita, fusarioses, rizoctoniose e roseliniose; além das bacterioses como mancha aureolada e atrofia dos ramos e viroses como mancha anular (CoRSV). Os principais nematoides do ponto de vista econômico, com distribuição mundial e no Brasil, são os das espécies do gênero *Meloidogyne* (ZAMBOLIM et al., 2005).

Em referência às pragas o bicho-minerio é a mais importante, seguido pela broca e outras de importância secundária como cigarras, pulgões, cochonilhas e ácaros (SANTINATO et al., 2008).

4.3. Ferrugem do cafeeiro

Conhecida como ferrugem alaranjada, foi descrita no Ceilão (Sri Lanka), em 1868, por Berkeley, tendo como agente causal o fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome, tem sido o principal problema da cultura do café em todas as regiões do mundo onde ele é cultivado (ZAMBOLIM et al., 2005).

4.3.1. Sintomatologia

A ferrugem do cafeeiro é uma doença foliar que, inicialmente, causa manchas cloróticas translúcidas na face inferior das folhas. Em poucos dias, essas manchas crescem e apresentam aspecto pulverulento (uredósporos) e coloração amarelo – alaranjada característica da doença. Na superfície superior da folha, aparecem manchas cloróticas amareladas, que correspondem aos limites da pústula na face inferior, que posteriormente necrosam (AGRIOS, 2005). Com o tempo, as lesões aumentam de tamanho, deixando no seu centro uma área necrótica, onde a esporulação diminui, com a produção de esporos de cor mais branca, de menor viabilidade, chegando eventualmente a cessar. A perda da cor amarelo-alaranjada típica dos esporos, pode ser acelerada pela presença do fungo *Verticillium hemileiae*.

A formação de pústulas é uma característica distintiva para esta ferrugem, quando comparada com outra espécie, de menor importância, com ocorrência apenas na África Central em variedades de *Coffea arábica*, descrita como *Hemileia coffeicola*, que não as produz (ZAMBOLIM et al., 2005).

A ferrugem é uma doença muito destrutiva no café, causando, desde danos nas árvores, até redução na produção devido à queda prematura das folhas lesionadas (AGRIOS, 2005).

4.3.2. Etiologia

A doença é causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, pertencente ao filo Basidiomycota, subfilo Pucciniomycotina, classe Urediniomycetes, ordem Uredinales, gênero *Hemileia* e espécie *H. vastatrix* (Índex fungorum, 2008). As características que distinguem o gênero *Hemileia* dos demais gêneros são: hábito de penetração e esporulação através de estômatos e uredósporos reniformes equinulados dorsalmente e lisos ventralmente. Os teliosporos são unicelulares, globosos, lisos, que germinam “in situ” (ZAMBOLIM et al., 2005).

H. vastatrix é um fungo biotrófico, que apresenta um ciclo de vida incompleto, pois até o momento não se conhece as fases de pécnio e écio. O fungo produz dois tipos de esporos morfologicamente diferentes e com função distinta. O primeiro, mais comum, é chamado uredósporos e são produzidos em abundância na face inferior das folhas, pela germinação, produz micélio que, depois de se desenvolver nos tecidos da folha do cafeeiro, produz novos uredósporos. O segundo tipo é o teliosporo, formado eventualmente em lesões velhas, geralmente 7 a 10 semanas depois de formados os primeiros uredósporos, em geral na parte central das lesões, em tecido necrosado. Por germinação, produzem um pró-micélio de quatro células, uma das quais dará formação ao basidiósporo. Vários pesquisadores tentaram infectar o cafeeiro, e outras plantas, com basidiósporos, obtendo resultados negativos. (AGRIOS, 2005; ZAMBOLIM et al., 2005).

A fonte de inóculo é constituída pelas lesões em folhas infectadas onde são produzidos os uredósporos. A disseminação ocorre pela ação do vento, pelas gotas de chuva, pelo escorrimento de água das margens do limbo para a superfície inferior, pelo homem, durante a execução de tratos culturais, e por insetos e outros animais que entrem em contato com plantas infectadas. Depois de disseminados, os uredósporos que caírem na face inferior das folhas germinarão em um período de 3 a 6 horas em condições de muita umidade ou água livre e temperatura entre 21 e 25°C, na ausência de luz. Sendo 22°C a temperatura ótima, enquanto que abaixo de 15°C e acima de 28,5°C o processo é inibido (ZAMBOLIM et al., 2005).

4.3.3. Epidemiologia e danos

O desenvolvimento da doença no campo está intimamente

relacionado à ocorrência de chuvas. Em quase todos os locais onde a doença ocorre, sua incidência cresce do início para o fim das chuvas, atingindo o máximo no fim da estação. Durante a estação seca, acentuada queda de folhas reduz a incidência da doença. Altitudes de 500m até 850m favorecem a ferrugem, acima de 1000m a incidência e severidade da doença decrescem, devido ao abaixamento da temperatura. Com o decréscimo da severidade aumenta o período latente do fungo nos tecidos do cafeeiro.

Os fatores que favorecem o desenvolvimento de epidemias de ferrugem são: alta densidade foliar no início do período chuvoso e condições climáticas favoráveis, principalmente temperatura, umidade relativa e molhamento foliar prolongado (AGRIOS, 2005).

Os principais prejuízos ocasionados pela doença são: redução na área foliar, pela formação de lesões e queda precoce das folhas e a seca dos ramos laterais, provocando gradualmente a deformação das plantas. A desfolha provoca uma redução no florescimento e na frutificação, afetando a produtividade (CARVALHO et al., 2002; GUZZO, 2004). A presença das pústulas nas folhas reduz a área fotossintética da planta, além de uma abscisão prematura dessas folhas, algumas vezes precedida por uma clorose generalizada. A doença pode, ocasionalmente, atacar as extremidades de ramos das brotações novas e os frutos verdes. Quando ocorre a desfolha antes do florescimento, há interferência na formação dos botões florais e frutificação. Se ocorrer durante o desenvolvimento dos frutos acontecerá má formação dos grãos, comprometendo a produção da safra seguinte (BOLDINI, 2001, ZAMBOLIM et al., 2005).

A seca constante dos ramos reduz a longevidade dos cafeeiros, tornando a lavoura gradativamente antieconômica (PEREIRA, 2003). A severidade da ferrugem e os prejuízos ocasionados na produção do cafeeiro, de modo geral, variam de região para região e de ano para ano, em decorrência da carga pendente dos cafeeiros e das condições climáticas prevalecentes (POZZA, 2004).

4.4. Cercosporiose do cafeeiro

É uma das doenças mais antigas nas Américas, tendo sido relatada no Brasil em 1887. Atualmente está presente de forma endêmica em quase todas as regiões que apresentem condições favoráveis, recebendo várias denominações: “Mancha de olho pardo”, “Olho de Pomba” e “Brown Eye Spot” (ZAMBOLIM et al., 2005).

4.4.1. Sintomatologia

Os sintomas nas folhas manifestam-se como manchas circulares de coloração marrom-escuras envolvidas por anel arroxeadado, semelhante a um olho que necrosam com o tempo. No centro das lesões, em estágio mais avançado, geralmente são observadas pequenas pontuações pretas, que constituem as estruturas de frutificação do patógeno (esporodóquios). As folhas atacadas caem rapidamente, ocorrendo desfolha e seca dos ramos. A desfolha é causada pela grande produção de etileno no processo de necrose, bastando uma lesão por folha para causar sua queda (AGRIOS, 2005; ZAMBOLIM et al., 2005). Nos frutos, as lesões começam a aparecer quando estes ainda estão pequenos, aumentando o ataque no início da granação. As lesões permanecem até o amadurecimento dos frutos. Seu aparecimento ocorre principalmente nas partes mais expostas à insolação, na forma de pequenas manchas castanhas, deprimidas, que se alongam no sentido das extremidades. À medida que as manchas envelhecem, assumem um aspecto ressecado e escuro, fazendo com que a casca, nessa parte, fique aderente à semente, o que, em ataques mais severos, causa seu chochamento (ZAMBOLIM et al., 2005).

4.4.2. Etiologia

O agente etiológico da doença é o fungo *Cercospora coffeicola* Bark. & Brooem. Ainda não se conhece sua forma teliomórfica. O fungo produz um estroma fino, globular, marrom-escuro. Os conidióforos estão dispostos de forma irregular neste estroma, apresentando coloração marrom-clara, esbranquiçados na extremidade. Algumas espécies apresentam conidióforos curtos. Os conídios são hialinos, aciculares a obclavados, quase retos, de base truncada e ponta aguda, multiseptados (ZAMBOLIM et al., 2005).

As condições favoráveis para a esporulação são umidade relativa alta e temperatura amena. A disseminação é promovida por vento, água ou insetos (AGRIOS, 2005; ZAMBOLIM et al., 2005). Após atingir o cafeeiro, na presença de umidade suficiente, os conídios germinam e o tubo germinativo penetra diretamente através da cutícula ou por aberturas naturais. Quando ocorre infecção de frutos, o patógeno pode atingir as sementes e ser transmitido por meio das mesmas (ZAMBOLIM et al.,

2005).

4.4.3. Epidemiologia e danos

Condições de baixas temperaturas, alta umidade relativa, encharcamento do solo, ventos frios, sistema radicular pouco desenvolvido, deficiências hídricas severas e insolação intensa, além de precário estado nutricional, predis põem as mudas ao aparecimento e maior intensidade da doença. Plantas com deficiências nutricionais, especialmente de nitrogênio, são mais atacadas pelo patógeno. É comum associar esta doença com carência de nutrientes em cafeeiros e no solo e recomendar fertilizantes e fungicidas para controlá-la (MATIELLO et al., 1986). Diversas pesquisas mostraram efeitos positivos na ação do nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes nas relações entre nutrição de plantas e doenças causadas por microrganismos (BINGHAM et al., 1958; BOHN & DAVIS, 1968; MOORE & WILLS, 1967).

Trata-se de uma doença de importância econômica, causando desfolha prematura, que reduz a área fotossinteticamente ativa da planta com consequente morte dos ramos plagiotrópicos e reduzindo a produção, além de prejuízos na depreciação da qualidade do café (GREE, 1993; LÓPES-DUQUE; FERNÁNDEZ-BORRERO, 1969). Em condições de viveiro, causa desfolha intensa, provocando atraso no desenvolvimento e raquitismo das plantas.

4.5. Bicho-mineiro do cafeeiro

4.5.1. Descrição do inseto

Trata-se de um inseto monófago, que ataca apenas o cafeeiro e é considerada praga exótica de origem africana (GALLO et al., 1978; REIS & SOUZA, 1986). Seu nome se deve às galerias, também denominadas minas, que constrói entre as epidermes da folha, em consequência à destruição do tecido paliçádico, utilizado pelas lagartas para sua alimentação (SOUZA et al., 1998). Essas galerias construídas pelo inseto possuem bordas irregulares com coloração amarelo-pálido no início e pardas com o centro escuro no final do desenvolvimento do inseto. A coloração escura é devido ao depósito de dejetos pelo inseto (CONCEIÇÃO, 2005).

No Brasil, as primeiras referências à praga do cafeeiro datam de 1860/1861, época em que surtos importantes foram observados em cafezais da província do Rio de Janeiro e do município de Juiz de Fora, em Minas Gerais. No entanto, foi apenas a partir de 1970, com a introdução no Brasil, do fungo *Hemileia vastatrix*, agente causal da ferrugem alaranjada do cafeeiro, que o problema se agravou. Níveis populacionais elevados passaram a serem observados, sendo cada vez mais frequentes e contínuos os ataques, como consequência do uso intensivo de produtos químicos para o controle da ferrugem (CONCEIÇÃO et al., 2005).

4.5.2. Biologia do inseto

O nome científico do bicho-mineiro é *Leucoptera coffeella*. Sua região de origem é a África, de onde se disseminou para os demais continentes. O inseto é atualmente praga de importância primária no Brasil, América Central, Índia e Quênia (GALLO et al., 1978). É considerado um inseto de metamorfose completa, passando pelas fases de ovo, lagarta, crisálida e mariposa (SOUZA et al., 1998).

Os ovos do bicho-mineiro possuem um aspecto gelatinoso e são muito pequenos, sendo dificilmente vistos a olho nu (MATOS, 2001). A oviposição é feita com maior frequência em folhas do terceiro e quarto internódios, na epiderme superior das folhas (WALKER e QUINTANA, 1969), preferencialmente ao entardecer quando a umidade relativa do ar é mais baixa (KATYAR e FERRER, 1968) e temperatura em torno de 27°C, contribuem sobremaneira para o aumento do número de ovos por postura (PARRA, 1985).

As lagartas apresentam aparelho bucal do tipo mastigador, três pares de patas torácicas e cinco falsas patas abdominais (SOUZA, et al., 1998). Na fase de lagarta, o inseto não tem contato com o meio externo. Logo após a eclosão, as lagartas perfuram a cutícula e a epiderme superior da folha que se encontra em contato com o ovo, penetrando diretamente no parênquima paliçádico onde permanecem se alimentando de células desse tecido até o abandono para transformação em crisálida. É no período larval que o bicho-mineiro causa maiores danos às plantas (SOUZA et al., 1998).

4.5.3. Epidemiologia e danos

O desenvolvimento das lagartas é afetado por diversos fatores, como a temperatura e a umidade relativa do ar. Estudos realizados por Parra (1981) revelaram que a duração da fase larval e a viabilidade das lagartas, ou seja, a porcentagem de insetos que passam à fase de crisálida diminui com o aumento da temperatura.

As lagartas ao completarem seu desenvolvimento abandonam as galerias tecendo um fio de seda e deslocam-se preferencialmente para folhas do terço inferior das plantas, ou seja, na “saia” do cafeeiro (GALLO et al., 1978). O casulo em forma de “X” é típico das espécies do gênero *Leucoptera* que atacam o cafeeiro (CROWE, 1964) e localiza-se especialmente na superfície abaxial das folhas (MATOS, 2001).

A temperatura tem papel relevante na fase de crisálida do desenvolvimento do inseto. Segundo Parra (1981), o tempo que o inseto permanece na fase de pupa reduz com o aumento gradual da temperatura, enquanto a viabilidade dessa fase (porcentagem de adultos emergidos), é de 78,7 % a 20 °C, 94,7 % a 27 °C, 93,3 % a 30 °C e 25 % a 35 °C.

As mariposas, que constituem o adulto do bicho-mineiro, apresentam coloração prateada com uma mancha circular de halo amarelo nas pontas das asas e aproximadamente 6,5 mm de envergadura e hábito crepuscular noturno (SOUZA et al., 1998). A temperatura e a umidade do ar também influenciam a duração e a viabilidade da fase adulta. De acordo com Parra (1981), não existe diferença na longevidade de machos e fêmeas em uma mesma temperatura. Os adultos vivem aproximadamente 12 dias em temperaturas de 20 °C e 27 °C, enquanto que, em temperatura de 30 °C, a longevidade é de aproximadamente oito dias.

É consenso que a duração do ciclo total de *L. coffeella* tem correlação direta com cada uma das fases do desenvolvimento do inseto e é fortemente influenciada pela temperatura e possivelmente pela umidade, pois há controvérsias quanto à influência da umidade relativa do ar.

Em estudos realizados por Parra (1985), com a cultivar Mundo Novo em condições controladas de laboratório, o ciclo biológico completo de *L. coffeella* foi de 44,3 dias a 20 °C, 19,6 dias a 27 °C, 17,9 dias a 30 °C e 17,5 dias a 35 °C. E, o período de incubação dos ovos, assim como, a duração das fases larval e de crisálida não

sofreram influência das diferentes condições de umidade relativa do ar. De acordo com o autor, diferenças neste período podem ser devidas ao hospedeiro.

A incidência de bicho-mineiro nas lavouras de café é particularmente influenciada pela temperatura, face de exposição, espaçamento adotado e intensidade de ventos. Espaçamentos maiores, que proporcionam maior arejamento às plantas e, regiões com alta intensidade de ventos favorecem as infestações (AMARAL, 1953; SOUZA et al., 1998). Por outro lado, quando as minas são muito grandes ou mesmo, em uma única mina, onde existam lagartas de diferentes idades, o excesso de água pode causar maior mortalidade de lagartas de *L. coffeella*.

A intensidade de infestação do bicho-mineiro varia de ano para ano e entre lavouras de uma mesma região cafeeira ou não. Em condições de clima favorável ao inseto, ou seja, altas temperaturas, baixa umidade do ar e distribuição irregular das chuvas, com períodos secos prolongados, ocorrem evoluções rápidas das populações, que podem atingir altíssimas infestações (ALMEIDA, 1973). A ocorrência de períodos mais longos de seca, com predominância de altas temperaturas, mesmo no inverno, devido as mudanças climáticas, têm relação direta com a flutuação populacional do bicho-mineiro e maior intensidade de lesões e prejuízos (REIS e SOUZA, 1994).

No entanto, o clima não é o único fator que interfere no nível de infestação da praga. Outros fatores como práticas culturais, uso inadequado de produtos agrícolas e dimensão de talhões, são também considerados importantes. O uso incorreto de inseticidas também influencia a dinâmica populacional. Por exemplo, o controle biológico é reduzido devido ao uso de produtos em culturas intercalares com o café que podem atingir predadores e parasitoides presentes na lavoura (CONCEIÇÃO, 2005).

Os prejuízos ocorrem em consequência da redução da fotossíntese, causada pelo desenvolvimento das lesões e acentuada pela queda prematura de folhas (CIBES e PEREZ, 1957; MAGALHÃES, 1964; WALKER e QUINTANA, 1969). As perdas de produção têm relação direta com a intensidade de ataque e o período que ocorrem. As lagartas do bicho-mineiro se alojam e se alimentam, particularmente de células do parênquima paliçádico. As galerias formadas entre as epidermes superior e inferior justificam o nome designado ao inseto (CONCEIÇÃO, 2005). De acordo com Nantes e Parra (1977), os prejuízos são potencializados pela incidência preferencial em folhas do terceiro e quarto internódios onde a atividade fotossintética é maior.

Segundo Parra (1975), é possível estimar a redução da área foliar e o conseqüentemente o prejuízo na produção com base na amostragem criteriosa do número de ovos depositados por folha. Nos períodos secos do ano, a redução da superfície foliar pode chegar a 75%, e os prejuízos na produção são estimados em 87%.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização do experimento FACE

Experimentos do tipo FACE (“Free Air Carbon Dioxide Enrichment”) consistem na liberação de consideráveis quantidades de CO₂ em áreas relativamente extensas, permitindo o estudo das respostas de ecossistemas intactos. O aumento da concentração de CO₂ do ar é obtido com a sua contínua liberação no campo. As parcelas experimentais normalmente são grandes para reduzir o efeito de borda, com até 30m de diâmetro, e até 20m de altura, como por exemplo, para os experimentos florestais. As distâncias entre as parcelas, tratadas ou não, é grande, para evitar a interferência entre os tratamentos. Subparcelas podem ser distribuídas dentro das parcelas para as diversas avaliações. As principais vantagens desses experimentos são o estudo dos efeitos do aumento da concentração de CO₂ em ecossistemas e agroecossistemas sem alterar as condições do microclima, uma intensiva e extensiva amostragem devido ao grande porte das parcelas e o caráter interdisciplinar do trabalho. Porém, esse tipo de experimento é extremamente caro e difícil de ser conduzido, o que limita a realização em diversas regiões. Outro aspecto a ser notado é a longa duração dos testes. Segundo Idso & Idso (1994), para culturas anuais, os experimentos para verificar os efeitos do enriquecimento com CO₂ no desenvolvimento de plantas apresentam duração média de dois meses e meio. Assim, as avaliações destrutivas devem ser evitadas. O longo tempo se deve à necessidade de se avaliarem os efeitos no ciclo completo da cultura, sendo

considerado o peso de matéria seca de plantas. No caso de culturas perenes esse tempo é ainda maior. A maioria dos estudos realizados em FACE dura anos.

O experimento FACE onde foi realizado o presente trabalho está localizado no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, (latitude 22° 41' S, longitude 47° W, altitude de 570 m).

A implantação do experimento iniciou-se em 2010, quando mudas de café da espécie *C. arabica*, cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 foram plantadas nas linhas somente nos locais onde as parcelas do experimento não seriam instaladas. Após um ano, 12 parcelas foram instaladas no campo (Figura 1). Das quais, seis com injeção de CO₂ e seis sem injeção do gás. Cada parcela consiste de um octógono de aço com laterais de 4 m de comprimento com 10 m de diâmetro, espaçados para evitar contaminação entre as parcelas tratadas ou não tratadas. Nas entrelinhas, somente dentro das parcelas, foram plantadas mudas de café da espécie *C. arabica*, cultivar Obatã IAC 1669-20. O espaçamento é de 3,5m nas linhas localizadas fora das parcelas, 1,75m nas linhas localizadas dentro das parcelas e nas entrelinhas 0,60m. As parcelas estão localizadas em uma área de sete hectares com aproximadamente 35 mil plantas de café. A injeção do gás iniciou-se em agosto de 2011. A cultura foi instalada e conduzida de acordo com as recomendações agronômicas, exceto o controle fitossanitário que, para viabilizar os experimentos na área de fitossanidade, não foram realizados.



Foto: Regiane Iost

Figura 1: Parcela do experimento FACE no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente.

No centro de cada parcela há um analisador de gás infravermelho (IRGAs - Infra-red gas analysers) para monitoramento da concentração de CO₂ e sensores de temperatura e umidade do ar e do solo, radiação solar global e fotossinteticamente ativa, velocidade e direção do vento (Figura 2). O monitoramento da concentração do gás é realizado no período diurno (7 às 17h) em todas as parcelas e no período noturno somente nas parcelas com injeção do gás. A injeção de gás é feita diariamente em seis parcelas por meio de válvulas instaladas nos lados das parcelas e espaçadas 15 cm e 0,5 m acima do solo, que abrem e fecham conforme a direção e velocidade dos ventos na região. A injeção só é feita com ventos entre 0,5 e 4,5 m/s. O gás é injetado para o lado de fora das parcelas, contrariamente à direção dos ventos, de modo que, o vento misture o CO₂ injetado com o ar atmosférico e carregue-o para dentro das parcelas. A frequência percentual de observações de valores horários (7 às 17 horas) das concentrações de CO₂ obtidas nas parcelas tratadas e não tratadas durante o primeiro ano de injeção do gás encontra-se na Figura 3.

Todos os sensores foram adaptados para a rede de comunicação sem fio e se comunicam a um receptor localizado no laboratório construído no próprio campo experimental no qual são armazenados os dados.

O experimento segue delineamento fatorial com três fatores: CO₂ (condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar), Cultivar (Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20) e Período avaliado (primeiro ano de experimentação) em blocos casualizados com 20 repetições.



Foto: Regiane Iost

Figura 2: Estação meteorológica localizada no centro de cada parcela.

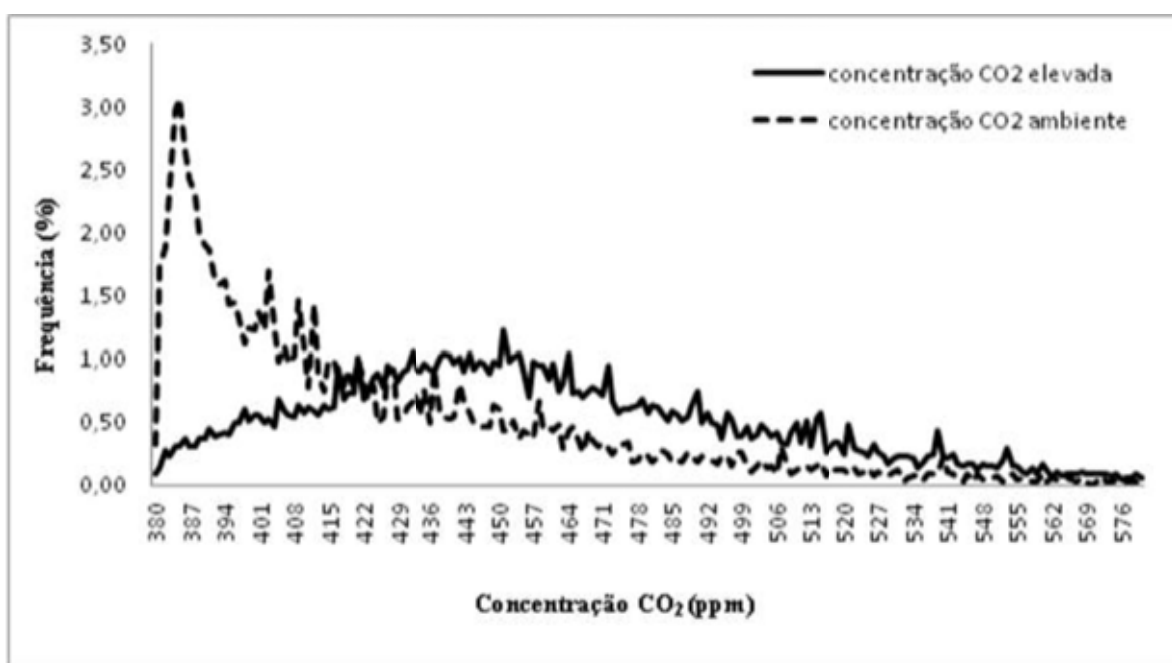


Figura 3: Frequência percentual de observações de valores horários (7 às 17 horas) das concentrações de CO₂ obtidas nas parcelas tratadas e não tratadas durante o primeiro ano de injeção do gás.

5.2. Caracterização das cultivares

5.2.1. Catuaí Vermelho IAC 144

A cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 resulta do cruzamento inicial entre as cultivares Caturra Amarelo e Mundo Novo de *C. arabica*, aliando a rusticidade e a produção do Mundo Novo ao porte reduzido do Caturra (CARVALHO e MÔNACO, 1972). Essa cultivar modificou os sistemas de produção, permitindo a utilização de novas áreas para a cafeicultura, aumentando a lucratividade e viabilizando seu cultivo em regiões outrora improdutivas, como extensas áreas dos cerrados em São Paulo, Minas Gerais e Goiás. As plantas apresentam porte baixo, o que permite maior densidade de plantio tornando mais fácil a colheita e mais eficientes os tratamentos fitossanitários; internódios curtos; ramificação secundária abundante; frutos vermelhos de maturação média a tardia; sementes de tamanho médio e suscetibilidade à ferrugem.

As seleções das cultivares Catuaí têm ampla capacidade de adaptação, apresentando produtividade elevada na maioria das nossas regiões cafeeiras ou mesmo em outros países. Essa cultivar apresenta alta produção logo nos dois primeiros anos de colheita, Por isso, necessita de cuidadoso programa de adubação.

5.2.2. Obatã IAC 1669-20

A cultivar Obatã IAC 1669-20 é derivada do cruzamento entre Villa Sarchi e Híbrido de Timor 832/2 e posterior cruzamento natural com Catuaí Vermelho (FAZUOLI et al., 2000). O potencial de produção das plantas é similar ao da cultivar Catuaí Vermelho. As plantas apresentam porte baixo; são vigorosas com internódios curtos; folhas largas; boa ramificação secundária; brotos novos de coloração verde; frutos vermelhos e de maturação média a tardia e resistência à ferrugem.

O cultivo de material resistente à ferrugem representa considerável economia para o produtor, diminuição na poluição ambiental e nos riscos para a saúde dos agricultores e consumidores devido ao menor uso de fungicidas.

5.3. Avaliações realizadas em campo

Com o objetivo de avaliar o efeito do aumento da concentração de CO_2 do ar sobre o crescimento das plantas de café e a ocorrência de problemas fitossanitários nas duas cultivares, foram realizadas avaliações em 20 plantas por cultivar em cada uma das 12 parcelas, a partir do início da aplicação do gás. As plantas foram escolhidas ao acaso e devidamente marcadas para que as avaliações fossem realizadas sempre na mesma planta (Figura 4). Inicialmente as avaliações foram realizadas mensalmente durante os seis primeiros meses. A partir disso, devido ao tamanho das plantas, que inviabilizavam as avaliações, foram realizadas mais duas avaliações, uma durante o inverno e outra durante a primavera. Entretanto, para a ferrugem foram realizadas apenas duas avaliações, as duas últimas, visto que, a ocorrência da mesma se deu apenas no final das avaliações. A primeira avaliação foi realizada em setembro de 2011, a segunda em outubro de 2011, a terceira em novembro de 2011, a quarta em dezembro de 2011, a quinta em janeiro de 2012, a sexta em fevereiro de 2012, a sétima em maio de 2012 e a oitava em setembro de 2012 (Tabela 1).

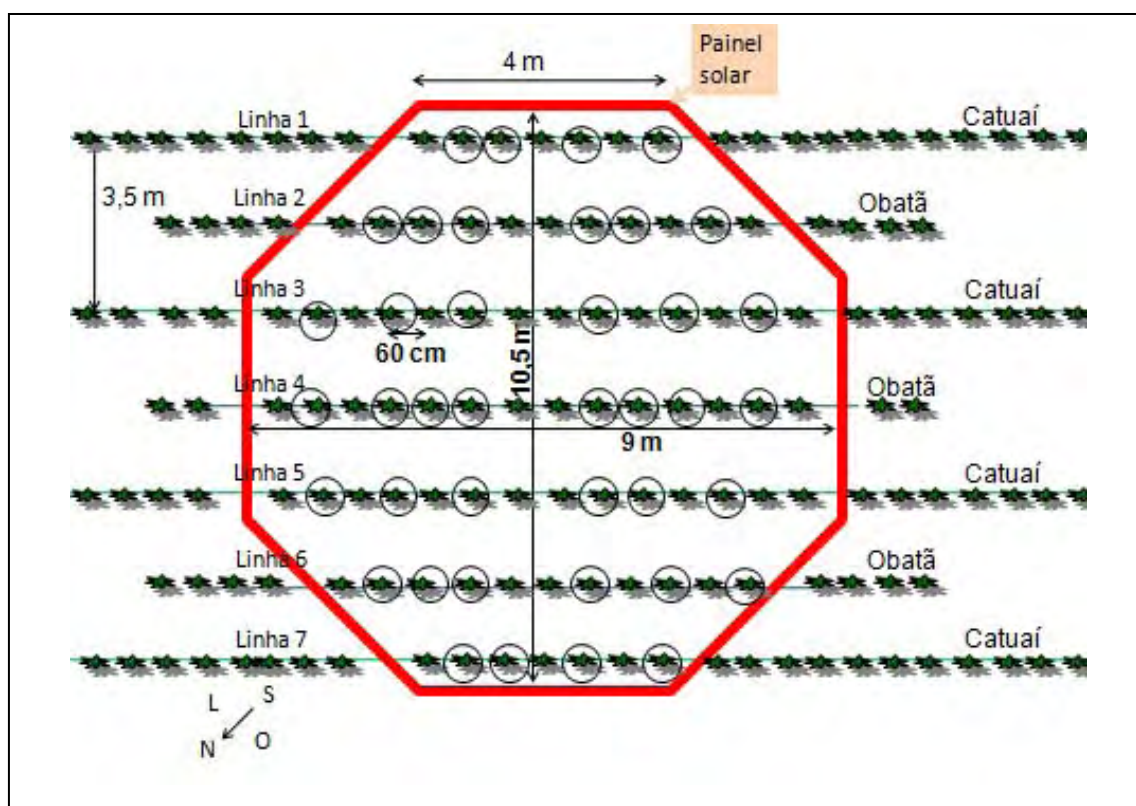


Figura 4: Esquema de uma parcela com as marcações das plantas. Os círculos indicam as plantas que foram avaliadas.

		2011				2012			
		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mai	Set
Crescimento plantas	Total folhas	x	x	x	x	x	x	x	x
	Total ramos	x	x	x	x	x	x	x	x
	Total nós	x	x	x	x	x	x	x	x
	Altura (cm)	x	x	x	x	x	x	x	x
	Diâmetro colo (mm)	x	x	x	x	x	-	-	-
Problemas fitossanitários (Incidência)	Cercosporiose	x	x	x	x	x	x	x	x
	Bicho-mineiro	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ferrugem	-	-	-	-	-	-	x	x

Tabela 1: Esquema das avaliações realizadas durante o primeiro ano de experimento.

5.3.1. Características de crescimento do cafeeiro

O crescimento das plantas de café foi avaliado por meio da contagem do número total de folhas, número total de nós, número total de ramos e determinação da altura e do diâmetro do colo. O número total de folhas, o número total de nós e o número total de ramos foram contados na planta toda. A altura das plantas foi medida do solo até o ápice da haste principal com o auxílio de uma régua. O diâmetro foi medido no colo das plantas com paquímetro digital.

5.3.2. Ferrugem e cercosporiose do cafeeiro

As doenças foram avaliadas com base na incidência, por meio da porcentagem do número de folhas lesionadas na planta toda.

5.3.3. Bicho-mineiro do cafeeiro

A incidência do inseto foi mensurada mediante a determinação da porcentagem do número de folhas lesionadas na planta toda.

5.3.4. Análise estatística

A partir dos dados obtidos, para cada variável avaliada, foi realizada a comparação de médias por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo programa estatístico Assistat (ASSISTAT, 2012). Os dados relativos à incidência de cercosporiose e de bicho-mineiro foram transformados para $x+1$ e $\sqrt{x}$, respectivamente, antes da realização das análises.

5.4. Experimentos em laboratório

5.4.1. Ferrugem do cafeeiro

O experimento baseou-se na metodologia de discos foliares descrita por Eskes (1982). Para tanto, folhas do terço médio de plantas de café cultivadas nas parcelas do FACE foram coletadas apenas de uma cultivar e dos dois tratamentos com CO₂ em agosto de 2012 (Catuaí Vermelho IAC 144, folhas obtidas de plantas desenvolvidas em concentração ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar). A partir das folhas coletadas e com o auxílio de um furador de 1,5 cm de diâmetro foram obtidos os discos foliares, os quais foram acondicionados, com a superfície abaxial para cima, sobre espuma umedecida com água em bandejas (25 x 39 x 7,2 cm) vedadas com vidro, de forma a manter 100% da umidade relativa no seu interior (Figura 5).



Foto: Regiane Iost

Figura 5: Discos foliares inoculados com *Hemileia Vastatrix* e acondicionados em bandeja vedada com vidro.

Os uredósporos de *H. vastatrix* foram coletados com o auxílio de pincel com cerdas macias de folhas lesionadas de plantas de café de fora das parcelas. A suspensão de uredósporos foi preparada em água destilada acrescida de Tween 20 (1 gota em 250 mL água destilada) e calibrada em câmara de Neubauer na concentração de 2.10^5 uredósporos/mL. A suspensão foi mantida em constante agitação para homogeneização por um agitador magnético.

A inoculação foi realizada por meio da pulverização manual a aproximadamente 10 cm de distância da superfície dos discos foliares. Cada caixa continha quatro parcelas, com 30 discos foliares cada, referentes aos tratamentos. Em cada tratamento a suspensão de uredósporos foi inoculada aos discos até o ponto de escoamento por caixa. Após a inoculação da suspensão, as caixas foram mantidas no escuro por 24 horas. Em seguida foram mantidas em BOD com temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ e fotoperíodo de 12/12h.

5.4.1.1. Avaliações

A severidade da doença foi avaliada por meio da esporulação de *H. vastatrix* e porcentagem da área lesionada nos discos foliares no sétimo dia após o aparecimento das lesões. Para a avaliação de esporulação foram realizadas coletas dos urediniósporos dos 30 discos de cada parcela que foram colocados em tubos de ensaio contendo 1 mL de água destilada acrescida de Tween 20 (1 gota em 250 mL água destilada). Esses tubos foram mantidos em ultrassom por 15 minutos e em seguida foram feitas quatro leituras em câmara de Neubauer para determinação da concentração dos

urediniósporos. Após 37 dias da inoculação da suspensão, devido a necrose dos discos, as parcelas foram fotografadas e a análise da área lesionada foi feita para todos os discos, com o auxílio do software Assess 2,0 (ASSESS, 2002-2008). O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados com 30 repetições.

5.4.2. Cercosporiose do cafeeiro

Folhas do terço médio de plantas de café cultivadas nas parcelas do FACE foram coletadas das duas cultivares e dos dois tratamentos com CO₂ em novembro de 2012 (Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20, folhas obtidas de plantas desenvolvidas em concentração ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar) e levadas ao Instituto Biológico de Campinas onde foi montado o experimento. As folhas coletadas foram acondicionadas em câmara úmida confeccionadas com sacos plásticos. Cada câmara consistia de um saco plástico com lâminas de vidro para apoiar as folhas e algodão umedecido (Figura 6). Cada câmara úmida continha seis folhas, referentes aos tratamentos. Antes de serem colocadas dentro das câmaras, as folhas foram inoculadas com o patógeno. A inoculação consistiu na colocação de discos de meio de cultura contendo micélio do patógeno sobre as folhas destacadas, quatro discos por folha (Figura 7). O isolado do patógeno empregado no estudo pertence à coleção do Instituto Biológico. As câmaras úmidas foram mantidas em temperatura ambiente com fotoperíodo de 12/12h.



Foto: Regiane Iost

Figura 6: Câmara úmida onde foram acondicionadas as folhas de café inoculadas com *Cercospora coffeicola*.



Foto: Regiane Iost

Figura 7: Folha de café com discos de meio de cultura contendo micélio de *Cercospora coffeicola*.

5.4.2.1. Avaliações

A severidade da doença foi avaliada por meio da determinação da porcentagem média da área foliar lesionada. As folhas foram fotografadas aos sete e 15 dias após a inoculação e a análise da área lesionada foi feita com o auxílio do softwear Assess 2.0 (ASSESS, 2002-2008). Com os dados da área lesionada e a área da folha foi calculada a porcentagem de área lesionada. O experimento foi instalado em arranjo fatorial com dois fatores: CO₂ (folhas obtidas de plantas desenvolvidas em concentração ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar) e Cultivar (Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20) em blocos casualizados com seis repetições.

5.4.3. Bicho-mineiro do cafeeiro

Folhas do terço médio de plantas de café cultivadas nas parcelas do FACE foram coletadas das duas cultivares e dos dois tratamentos em março de 2012 (Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20, folhas obtidas de plantas desenvolvidas em concentração ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar). A infestação artificial das mesmas foi realizada em gaiolas de criação de insetos mantidas em insetário no IAC – Instituto Agrônômico de Campinas, segundo o método descrito por Katiyar e Ferrer (1968) e adaptado por Parra (1985) (Figura 8). As folhas coletadas foram introduzidas em gaiolas e expostas à infestação durante uma noite. No dia seguinte, as folhas foram retiradas das gaiolas para a montagem do experimento. O experimento baseou-se na metodologia de discos foliares descrita por Eskes (1982). Os discos foliares

obtidos, com o auxílio de um furador de 1,5 cm de diâmetro foram acondicionados sobre espuma umedecida com água em bandejas (25 x 39 x 7,2 cm) vedadas com vidro, de forma a manter 100% da umidade relativa no seu interior. Cada caixa continha quatro parcelas, com 30 discos foliares cada, referentes aos tratamentos. Com o auxílio de uma agulha e observação em lupa o excesso de ovos nos discos foi retirado sendo mantido apenas um ovo em cada disco (Figura 9). As caixas foram mantidas em BOD com temperatura de $27^{\circ}\text{C} \pm 2$ e fotoperíodo de 12/12h. O experimento foi instalado em arranjo fatorial com dois fatores: CO_2 (plantas desenvolvidas em concentração ambiente e elevada em relação à concentração de CO_2 do ar) e Cultivar (Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20) em blocos casualizados com 30 repetições.



Foto: Regiane Iost

Figura 8: Gaiola de criação de insetos utilizada para infestação artificial de folhas de café localizada no insetário do IAC.

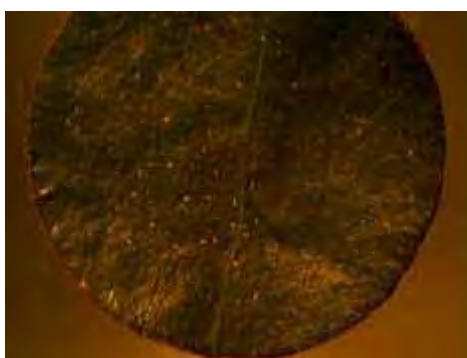


Foto: Regiane Iost

Figura 9: Imagem em lupa de um disco foliar antes da retirada do excesso de ovos.

5.4.3.1. Avaliações

O período de incubação dos ovos foi determinado pela relação entre o número de ovos eclodidos entre o quarto e o sexto dia após a postura e a viabilidade dos ovos foi determinada pela porcentagem de ovos eclodidos no décimo dia após a postura (PARRA, 1985/1981). Para a determinação da severidade do ataque a área do disco lesionada pelo inseto foi determinada, dez dias após a postura, com o auxílio do software Assess 2.0 (ASSESS, 2002-2008).

5.4.4. Análise estatística

A partir dos dados obtidos, para cada variável avaliada, foi realizada a análise de variância e comparação de médias por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo programa estatístico Assistat (ASSISTAT, 2012). Os dados relativos à severidade de ferrugem e cercosporiose foram transformados para $\sqrt{x}$ antes da realização das análises.

6. RESULTADOS

6.1. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre o crescimento de plantas de café em condições de campo

A cultivar Obatã IAC 1669-20 independente do tratamento com CO₂ apresentou maior enfolhamento que a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144. As diferenças foram significativas apenas no final do período avaliado, especificamente nas duas últimas avaliações (Tabela 2). As duas cultivares em condições de concentração elevada de CO₂ e a cultivar Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente de CO₂ apresentaram maior número total de nós e maior altura que a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 em condições de concentração ambiente de CO₂. Essas diferenças foram observadas apenas nas duas últimas avaliações (Tabela 3 e 4). O número total de ramos foi maior na cultivar Obatã IAC 1669-20 que na cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 independentemente do tratamento com CO₂ e do período avaliado (Tabela 5). Não houve diferença estatística no diâmetro do colo das plantas para nenhum dos fatores (CO₂ x Cultivar x Período avaliado) (Tabela 6).

Tabela 2: Número médio de folhas por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

		Avaliações (mês/ano)								
Efeito		Set/11	Out/11	Nov/11	Dez/11	Jan/12	Fev/12	Mai/12	Set/12	Média
Cultivar										
Catuaí		31,41 a	59,32 a	82,37 a	102,44 a	170,12 a	249,52 a	405,12 b	408,73 b	189,00 b
Obatã		32,39 a	67,94 a	99,69 a	119,63 a	191,87 a	278,65 a	461,98 a	524,98 a	222,14 a
Concentração de CO₂										
Ambiente		32,93	64,28	92,09	110,51	182,80	270,28	431,63	454,66	204,90 a
Elevada		30,88	62,98	92,97	111,56	179,19	257,89	435,46	479,06	206,25 a
Cultivar x Concentração de CO₂										
Catuaí x Ambiente		31,59	59,51	84,56	101,48	169,64	248,03	396,70	380,03	
Catuaí x Elevada		31,24	59,12	86,17	103,41	170,61	251,01	413,53	437,44	
Obatã x Ambiente		34,27	69,04	99,62	119,55	195,97	292,52	466,56	529,28	
Obatã x elevada		30,52	66,83	99,76	119,72	187,77	264,78	457,40	520,68	

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 20,82

Tabela 3: Número médio de nós por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Avaliações (mês/ano)									
Efeito	Set/11	Out/11	Nov/11	Dez/11	Jan/12	Fev/12	Mai/12	Set/12	Média
Cultivar									
Catuaí	14,88	26,38	43,56	52,28	85,95	129,52	222,82	277,63	106,63 b
Obatã	16,48	31,01	51,49	61,79	98,95	146,23	258,89	309,92	121,84 a
Concentração de CO ₂									
Ambiente	16,02	29,01	48,32	57,98	93,43	141,22	240,96	281,54	113,56 a
Elevada	15,35	28,37	46,73	56,08	91,47	134,53	240,75	306,02	114,91 a
Cultivar x Concentração de CO ₂									
Catuaí x Ambiente	14,80 a	26,35 a	43,88 a	52,66 a	85,45 a	131,66 a	219,28 c	260,63 b	
Catuaí x Elevada	14,96 a	26,40 a	43,25 a	51,90 a	86,46 a	127,37 a	226,36 bc	294,62 ab	
Obatã x Ambiente	17,23 a	31,68 a	52,75 a	63,31 a	101,41 a	150,77 a	262,64 a	302,44 a	
Obatã x Elevada	15,73 a	30,34 a	50,22 a	60,27 a	96,49 a	141,69 a	255,13 ab	317,41 a	

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 20,65

Tabela 4: Altura média por planta, em centímetros, das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Avaliações (mês/ano)										
Efeito	Set/11	Out/11	Nov/11	Dez/11	Jan/12	Fev/12	Mai/12	Set/12	Média	
Cultivar										
Catuaí	28,97 b	30,80 b	33,23 b	36,12 b	38,81 b	49,24 b	56,70 b	66,72 b	42,76 b	
Obatã	32,93 a	34,77 a	36,64 a	39,60 a	42,12 a	47,47 a	60,72 a	71,37 a	46,49 a	
Concentração de CO ₂										
Ambiente	31,22 a	32,97 a	35,10 a	38,09 a	40,84 a	46,19 a	58,52 a	68,69 a	44,75 a	
Elevada	30,67 a	32,60 a	34,77 a	37,63 a	40,09 a	45,52 a	58,90 a	69,41 a	44,50 a	
Cultivar x Concentração de CO ₂										
Catuaí x Ambiente	29,38 a	31,10 a	33,37 a	36,15 a	38,90 a	48,93 a	55,76 b	66,21 b		
Catuaí x Elevada	28,55 a	30,50 a	33,09 a	36,09 a	38,72 a	49,56 a	57,64 ab	67,24 ab		
Obatã x Ambiente	33,07 a	34,85 a	36,82 a	40,03 a	42,78 a	53,42 a	61,28 a	71,17 a		
Obatã x Elevada	32,80 a	34,70 a	36,45 a	39,17 a	41,47 a	52,18 a	60,17 ab	71,58 a		

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 7,01

Tabela 5: Número médio de ramos por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

		Avaliações (mês/ano)								
Efeito		Set/11	Out/11	Nov/11	Dez/11	Jan/12	Fev/12	Mai/12	Set/12	Média
Cultivar										
Catuaí		6,76 a	8,75 a	10,07 a	12,09 a	13,59 a	16,87 a	24,64 a	27,48 a	15,03 b
Obatã		7,00 a	9,49 a	11,08 a	13,30 a	14,90 a	17,69 a	25,25 a	28,54 a	15,91 a
Concentração de CO₂										
Ambiente		6,94	9,20	10,57	12,69	14,10	17,37	25,36	27,71	15,49 a
Elevada		6,83	9,03	10,58	12,70	14,40	17,18	24,52	28,30	15,44 a
Cultivar x Concentração de CO₂										
Catuaí x Ambiente		6,68	8,75	9,91	11,90	13,44	16,56	25,39	27,01	
Catuaí x Elevada		6,85	8,74	10,23	12,28	13,75	17,17	23,88	27,94	
Obatã x Ambiente		7,20	9,66	11,24	13,49	14,76	18,18	25,34	28,42	
Obatã x Elevada		6,81	9,32	10,93	13,12	15,04	17,20	25,15	28,66	

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 12,44

Tabela 6: Diâmetro médio do colo por planta, em milímetros, das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Avaliações (mês/ano)					
Efeito	Set/11	Jan/12	Mai/12	Set/12	Média
Cultivar					
Catuaí	7,71	14,18	20,97	36,45	18,25 a
Obatã	8,13	14,48	21,16	26,41	19,13 a
Concentração de CO₂					
Ambiente	8,83	12,93	19,32	33,71	17,55 a
Elevada	7,01	12,93	19,33	33,71	19,83 a
Cultivar x Concentração de CO₂					
Catuaí x Ambiente	7,12	13,00	19,20	23,82	
Catuaí x Elevada	6,91	12,86	19,46	43,60	
Obatã x Ambiente	9,15	15,96	23,13	29,01	
Obatã x Elevada	8,50	15,50	22,49	29,30	

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 61.70

6.2. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre problemas fitossanitários do cafeeiro em condições de campo

6.2.1. Ferrugem

O tratamento com CO₂ não influenciou na incidência de ferrugem para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 (Tabela 7). A cultivar Obatã IAC 1669-20 não foi avaliada, pois é resistente à doença.

Tabela 7: Incidência de ferrugem avaliada pela porcentagem média de folhas lesionadas por planta da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Efeito	Avaliações (mês/ano)		
	Mai/12	Set/12	Média
Concentração de CO₂			
Ambiente	5,08	5,18	5,13 a
Elevada	3,95	5,80	4,87 a

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 46.03

6.2.2. Cercosporiose

Em condições de concentração elevada de CO₂, a cultivar Obatã IAC 1669-20 apresentou maior incidência da doença que a mesma cultivar em condição de concentração ambiente de CO₂. A cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 não diferiu estatisticamente quanto ao tratamento com CO₂. Não houve diferença estatística entre cultivares, tanto em condição de concentração ambiente de CO₂, quanto em condição elevada de CO₂ (Tabela 8).

Tabela 8: Incidência de cercosporiose avaliada pela porcentagem média de folhas lesionadas por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Avaliações (mês/ano)									
Efeito	Set/11	Out/11	Nov/11	Dez/11	Jan/12	Fev/12	Mai/12	Set/12	Média
Cultivar									
Catuaí	0,48	0,41	0,78	0,79	0,75	0,88	0,11	0,00	0,68 a
Obatã	0,59	0,56	1,03	0,74	0,74	0,60	0,09	0,00	0,69 a
Concentração de CO₂									
Ambiente	0,50	0,45	0,46	0,73	0,70	0,62	0,08	0,00	0,65 a
Elevada	0,57	0,52	0,85	0,79	0,79	0,83	0,13	0,00	0,71 a
Cultivar x									
Concentração de CO₂									
Catuaí x Ambiente	0,45	0,73	1,03	0,87	0,87	0,86	0,14	0,00	
Catuaí x Elevada	0,52	0,30	0,68	0,72	0,72	0,79	0,11	0,00	
Obatã x Ambiente	0,56	0,40	1,04	0,61	0,61	0,33	0,04	0,00	
Obatã x Elevada	0,62	0,51	0,87	0,86	0,78	0,98	0,11	0,00	

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 32.57 Dados transformados para x+1.

Efeito	Cultivares	
Concentração de CO₂	Catuaí	Obatã
	0,61 aA	0,74 aA
	0,82 aA	0,56 bA

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas para colunas e letras maiúsculas para linhas. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 32.57 Análise com os dados transformados para x+1.

6.2.3. Bicho-mineiro

Não foram observadas diferenças estatísticas na incidência da praga para nenhum dos fatores (CO_2 x Cultivar x Período avaliado) (Tabela 9).

Tabela 9: Incidência de bicho-mineiro avaliada pela porcentagem média de folhas lesionadas por planta das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Avaliações (mês/ano)									
Efeito	Set/11	Out/11	Nov/11	Dez/11	Jan/12	Fev/12	Mai/12	Set/12	Média
Cultivar									
Catuaí	6,23	3,04	5,71	5,10	5,10	3,39	2,63	5,56	4,59 a
Obatã	6,33	1,54	4,97	4,52	4,53	2,67	2,31	6,29	4,15 a
Concentração de CO ₂									
Ambiente	5,43	2,44	4,93	4,40	4,40	2,57	2,63	5,76	4,07 a
Elevada	7,13	2,14	5,75	5,22	5,22	3,49	2,31	6,09	4,67 a
Cultivar x Concentração de CO ₂									
Catuaí x Ambiente	5,83 a	3,63 a	5,20 a	4,63 a	4,63 a	2,90 a	2,89 a	5,54 a	
Catuaí x Elevada	6,63 a	2,45 a	6,23 a	5,56 a	5,56 a	3,87 a	2,37 a	5,58 a	
Obatã x Ambiente	5,03 a	1,25 a	4,67 a	4,18 a	4,18 a	2,24 a	2,37 a	5,99 a	
Obatã x Elevada	7,63 a	1,84 a	5,27 a	4,87 a	4,88 a	3,10 a	2,26 a	6,60 a	

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV% = 31.56 Análise com os dados transformados para $\sqrt{x}$.

6.3. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre problemas fitossanitários do cafeeiro em condições de laboratório

6.3.1. Ferrugem

A severidade da doença foi maior em discos foliares obtidos de plantas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 desenvolvidas em condição de concentração elevada de CO₂ do que em discos foliares obtidos de plantas da mesma cultivar desenvolvidas em condição de concentração ambiente de CO₂ (Tabela 10). Discos foliares da cultivar Obatã IAC 1669-20 não foram avaliados pois essa cultivar é resistente à ferrugem. Não foram observadas diferenças estatísticas na esporulação do patógeno, tanto em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente de CO₂, quanto em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição elevada de CO₂ (Tabela 11).

Tabela 10: Severidade de ferrugem avaliada pela porcentagem média da área do disco foliar lesionada da cultivar Catuaí Vermelho (IAC – 144) em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Efeito	Severidade (%)
Concentração de CO₂	
Ambiente	4.21 b
Elevada	5.99 a

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV% = 78.69 Análise com os dados transformados para $\sqrt{x}$.

Tabela 11: Esporulação avaliada pela média de esporos por disco foliar da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Efeito	Esporulação (esporos/ml)
Concentração de CO₂	
Ambiente	3.29 x 10 ⁴ a
Elevada	4.45 x 10 ⁴ a

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV% = 42.06 Análise com os dados transformados para $\sqrt{x}$.

6.3.2. Cercosporiose

A severidade de cercosporiose foi maior em folhas destacadas de plantas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 do que em folhas destacadas da cultivar Obatã IAC 1669-20. O tratamento com CO₂ não influenciou nos resultados (Tabela 12).

Tabela 12: Severidade de cercosporiose avaliada pela porcentagem média da área foliar lesionada das cultivares Catuaí Vermelho IAC – 144 e Obatã IAC 1669-20 em folhas obtidas de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Avaliações			
Efeito	Sete dias após inoculação	Quinze dias após inoculação	Média
Cultivar			
Catuaí	0,77	3,64	2,21 a
Obatã	0,48	2,23	1,36 b
Concentração de CO₂			
Ambiente	0,40	2,43	1,42 a
Elevada	0,86	3,44	2,15 a
Cultivar x Concentração de CO₂			
Catuaí x Ambiente	0,40	2,80	
Catuaí x Elevada	1,15	4,49	
Obatã x Ambiente	0,40	2,07	
Obatã x Elevada	0,56	2,39	

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV(%) = 62,48 Análise com os dados transformados para $\sqrt{x}$.

6.3.3. Bicho-mineiro

Não foram observadas diferenças estatísticas na severidade e na viabilidade dos ovos para nenhum dos fatores (CO₂, Cultivar e Período avaliado) (Tabela 13 e 14). O período de incubação dos ovos foi maior em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição de concentração elevada de CO₂ do que em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição de concentração ambiente de CO₂ e, em discos foliares da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 do que em discos foliares da cultivar Obatã IAC 1669-20 (Tabela 15).

Tabela 13: Severidade de bicho-mineiro avaliada pela porcentagem média da área do disco foliar lesionada das cultivares Catuaí Vermelho IAC – 144 e Obatã IAC 1669-20 em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Efeito	Severidade (%)
Cultivar	
Catuaí	3.40 a
Obatã	5.34 a
Concentração de CO₂	
Ambiente	4.50 a
Elevada	4.25 a
Cultivar x Concentração de CO₂	
Catuaí x Ambiente	3.66 a
Catuaí x Elevada	3.14 a
Obatã x Ambiente	5.34 a
Obatã x Elevada	5.35 a

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV(%) = 29.18

Tabela 14: Viabilidade média dos ovos de *Leucoptera coffeella* por disco foliar das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Efeito	Viabilidade (%)
Cultivar	
Catuaí	82 a
Obatã	82 a
Concentração de CO₂	
Ambiente	80 a
Elevada	84 a
Cultivar x Concentração de CO₂	
Catuaí x Ambiente	82
Catuaí x Elevada	82
Obatã x Ambiente	78
Obatã x Elevada	86

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV(%) = 9.76

Tabela 15: Período de incubação dos ovos de *Leucoptera coffeella* das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 em discos foliares obtidos de plantas desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar.

Efeito	Período de Incubação (dias)
Cultivar	
Catuaí	5,73 a
Obatã	5,41 b
Concentração de CO₂	
Ambiente	5,46 b
Elevada	5,67 a
Cultivar x Concentração de CO₂	
Catuaí x Ambiente	5,62
Catuaí x Elevada	5,81
Obatã x Ambiente	5,30
Obatã x Elevada	5,52

Médias, nas colunas, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letra não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. CV(%) = 1.49

7. DISCUSSÃO

7.1. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre o crescimento de plantas de café em condições de campo

O tratamento com CO₂ teve efeito sobre o número total de nós e a altura das plantas, mas não teve efeito no número total de folhas, número total de ramos e diâmetro do colo (Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6). O período avaliado teve efeito sobre as variáveis: enfolhamento, número total de nós e altura, pois as diferenças foram observadas apenas nas duas últimas avaliações. De modo geral, sem considerar o tratamento com CO₂, a cultivar Obatã IAC 1669-20 apresentou maior crescimento que a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, uma vez que apresentou maior enfolhamento, maior número total de nós, maior altura e maior número total de ramos (Tabela 2, 3, 4 e 5). Apenas o diâmetro não diferiu estatisticamente entre as cultivares (Tabela 6). Essas diferenças podem ser devidas às próprias características agronômicas da cultivar, principalmente o maior vigor da cultivar Obatã IAC 1669-20 em relação a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144. Possivelmente, a resposta do crescimento de plantas ao aumento da concentração de CO₂ do ar requer um maior período de avaliação e a interação com outros fatores, como precipitação.

De acordo com Ghini, (2005), a comparação de plantas com a mesma idade, sem considerar o estágio fisiológico pode resultar em enganos na comparação dos efeitos do estímulo de crescimento. Muitas características das plantas dependem do seu estágio de desenvolvimento. E, o fator tempo também precisa ser

considerado, pois as alterações podem ocorrer em diversos períodos do desenvolvimento das plantas.

Para a maioria das espécies de plantas, o aumento da concentração de CO₂ do ar revela uma elevação da fotossíntese (AMTHOR, 1995) e uma maior eficiência no uso da água, o que pode resultar em incremento no crescimento das plantas (ROGERS & DAHLMAN, 1993). De acordo com Malhi et al. (2002), a duplicação da concentração de CO₂ na atmosfera favorece o crescimento de árvores entre 10% e 70% e aumenta a produção de biomassa.

Como o período avaliado pode ter efeito sobre os resultados, novas avaliações devem ser realizadas, em continuidade ao presente trabalho, para a comprovação desse efeito e possíveis interações com outros fatores como a precipitação.

7.2. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre problemas fitossanitários do cafeeiro em condições de campo

A incidência de cercosporiose foi maior na cultivar Obatã IAC 1669-20 em condições de concentração elevada de CO₂ do ar (Tabela 8). Resultados semelhantes de aumento da severidade de doenças em condições de aumento da concentração de CO₂ foram observados por Kobayashi et al. (2006) em plantas de arroz infectadas por *Rhizoctonia solani* e *Magnaporthe oryzae* e por Lessin & Ghini (2009) em oídio da soja. A cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 não diferiu estatisticamente nos dois ambientes (Tabela 8).

De acordo com Chakraborty et al. (1998), o desenvolvimento de uma planta é resultante da interação entre o seu genótipo e o ambiente. Sendo assim, mudanças no clima interferem na morfologia, fisiologia e metabolismo das plantas, resultando em variações na ocorrência e intensidade das doenças. Mudanças na densidade do dossel das plantas e na idade da folha podem contribuir para modificações na expressão da doença (EASTBURN et al., 2010). Essas modificações nas plantas hospedeiras são condicionadas pela planta hospedeira, pela idade da planta e pelo tipo de patógeno (MANNING & TIEDEMANN, 1995).

Durante o período avaliado não foram observadas diferenças estatísticas quanto à incidência de bicho-mineiro (Tabela 9). Porém, há na literatura relatos sobre a preferência para oviposição de *Leucoptera coffeella* e possíveis alterações na planta hospedeira em condição de atmosfera enriquecida com CO₂.

Matos (2001) afirma que folhas da cultivar Obatã IAC 1669-20 são preferidas em relação a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 para a oviposição. De acordo com Idso & Idso. (2001), o teor de nitrogênio e de proteínas das plantas pode ser reduzido em atmosfera enriquecida com CO₂, promovendo efeitos deletérios em ruminantes selvagens e domésticos e insetos herbívoros.

Resultados variáveis foram obtidos quanto aos efeitos do aumento da concentração de CO₂ do ar em compostos secundários das plantas, digestibilidade, palatabilidade, atratividade, defesa contra doenças, qualidade nutricional, concentração de minerais e outros componentes (GHINI, 2005).

Em condições de CO₂ elevado há um aumento da relação C/N que pode alterar o hábito alimentar de insetos, aumentando o consumo devido às necessidades de nitrogênio. A falta desse nutriente pode levar a alterações na taxa de crescimento, sobrevivência e fecundidade da praga (PRITCHARD & MASTHOR, 2005).

Para insetos, avaliados em *Scirpus olneyi*, a infestação foi menos severa e as larvas consumiram menos tecido vegetal, com o aumento do CO₂. A redução da infestação com insetos pode ser consequência de alteração no comportamento da praga, aumento da eficiência de uso de nitrogênio ou restrição do desenvolvimento em alguma fase do ciclo de vida do inseto devido ao aumento de mecanismos de defesa da planta (THOMPSON & DRAKE, 1994).

A ocorrência de ferrugem somente no final do período de avaliações pode não ter sido suficiente para que as diferenças de incidência fossem significativas, visto que, o período avaliado possivelmente influi nos resultados (Tabela 7).

Para todos os problemas fitossanitários há a necessidade de um maior período de avaliação. Segundo Ghini (2005), a duração dos experimentos é um importante fator que deve ser considerado, pois as alterações podem ocorrer em diversos períodos do desenvolvimento das plantas.

Novas avaliações devem ser realizadas, em continuidade ao presente trabalho, para que um maior período de tempo seja avaliado, juntamente com a interação com outros fatores, como precipitação.

7.3. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre problemas fitossanitários do cafeeiro em condições de laboratório

A maior severidade de ferrugem em discos foliares obtidos de plantas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 desenvolvidas em condição de concentração elevada de CO₂ e, o maior período de incubação de bicho-mineiro em discos foliares obtidos de plantas também desenvolvidas em condição de concentração elevada de CO₂ (Tabelas 10 e 15), podem estar relacionadas com alterações químicas e estruturais que ocorrem nas folhas de plantas que se desenvolvem em altas concentrações de CO₂ e que podem interferir no desenvolvimento da doença.

Segundo Manning e Tiedemann (1995), o aumento da taxa fotossintética, induzido pelo aumento da concentração de CO₂, possivelmente permite maior mobilização de recursos para o aumento da resistência da planta à penetração inicial do patógeno, como a produção de papilas, acúmulo de silício nos locais de penetração do apressório, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, mais cera, camadas adicionais de células da epiderme, aumento da quantidade de fibras e redução da concentração de nutrientes.

A maior severidade de cercosporiose em folhas destacadas obtidas de plantas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 em relação às folhas destacadas obtidas de plantas da cultivar Obatã IAC 1669-20, independentemente do tratamento com CO₂, pode estar relacionada com o genótipo da planta hospedeira (Tabela 12).

Patricio et al. (2010) obtiveram resultados diferentes quanto à severidade de cercosporiose em cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20, porém a metodologia utilizada foi diferente. Os autores avaliaram a resistência de plantas de *Coffea arabica*, *C. canephora* e de híbridos interespecíficos, à cercosporiose (*Cercospora coffeicola*), dentre eles as cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20, porém o experimento foi realizado com mudas de café que foram inoculadas com uma suspensão de conídios preparada com cinco isolados coletados em diferentes regiões do Estado de São Paulo e as avaliações de severidade foram realizadas por meio de uma escala de notas. As porcentagens de severidade foram de 1,75 e 2,07 para as cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 (1,75) e Obatã IAC 1669-20 (2,27), respectivamente.

No entanto, Ghini (2005) afirma que testes conduzidos em ambientes controlados podem caracterizar efeitos isolados de determinados fatores ambientais nas interações patógeno-hospedeiro.

Novas avaliações devem ser realizadas, em continuidade ao presente trabalho, para a comprovação dos possíveis efeitos da atmosfera enriquecida com CO₂ e verificação da possível interação com outros fatores, como temperatura de incubação, época de coleta das folhas e origem das folhas e dos discos foliares.

8. CONCLUSÕES

Em condições de campo, o aumento da concentração de CO₂ do ar:

- ✓ Tem efeito:
 - na altura e no número total de nós das plantas de café, diferentemente em cada cultivar;
 - na incidência de cercosporiose, diferentemente em cada cultivar.
- ✓ Não tem efeito:
 - no número total de folhas, no número total de ramos e no diâmetro do colo das plantas de café para as duas cultivares;
 - na incidência de ferrugem para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144;
 - na incidência de bicho-mineiro nas duas cultivares.
- ✓ O efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar no crescimento e nos problemas fitossanitários de plantas de café deve considerar a cultivar utilizada e o período avaliado.

Em condições de laboratório, discos foliares e folhas destacadas obtidas de plantas de café desenvolvidas em condição elevada de CO₂ em relação à concentração de CO₂ do ar:

✓ Tem efeito:

- na severidade de ferrugem para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144;
- no período de incubação dos ovos de *Leucoptera coffeella*, diferentemente em cada cultivar.

✓ Não tem efeito:

- na esporulação do patógeno de ferrugem para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144;
- na severidade de cercosporiose para as duas cultivares;
- na severidade e viabilidade dos ovos de *Leucoptera coffeella* para as duas cultivares.

✓ Estudos realizados com discos foliares e folhas destacadas obtidos de plantas de café desenvolvidas em condição ambiente e elevada em relação à concentração de CO₂ do ar devem considerar as condições em que as plantas se desenvolveram e a cultivar utilizada.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, George N. **Plant Pathology**. 5. ed. Department of Plant Pathology University of Florida: Elsevier, 2005, 922 p.

ALMEIDA, P.R. O bicho mineiro do cafeeiro. *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville. 1842) (Lepidoptera-Lyonetiidae) como fator de restrição do cafeeiro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE ENTOMOLÓGICA DO BRASIL. 1., Viçosa. **Resumos...** SEB, 1973, p. 31.

ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. **Morfologia e fisiologia do cafeeiro**. Lavras: UFLA, 2003, 46p.

AMARAL, S.F. Considerações sobre o bicho-mineiro e sua importância econômica. **O Biológico**, São Paulo, v. 19, n. 5, p. 85-92, 1953.

AMTHOR, J. S. Terrestrial higher-plant response to increasing atmospheric [CO₂] in relation to the global carbon cycle. **Global Change Biology**, Oxford, v.1, p.243-274, ago. 1995.

ASSAD, E.D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, Nov. 2004.

ASSISTAT, **Assistência estatística**. Versão 7.6 beta. Paraíba, 2012. Registro INPI: 0004051-2.

AVILA, A. M. H. Uma Síntese do Quarto Relatório do IPCC. **Multiciência**, Campinas, v. 8, p. 163-168, mai. 2007.

BENATO, E. A.; CIA, P.; SOUZA, N. L. de. Manejo de doenças de frutas pós-colheita. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Lavras, v. 9, p. 403-440, 2001.

BERGOT, M. et al. Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 1539-1552, 2004.

BINGHAM, F. T.; ZENTMYER, G. A.; MARTIN, J. P. Host nutrition in relation to *Phytophthora* root rot of avocado seedlings. **Phytopathology**, St. Paul, v. 48, n. 3, p. 144-148, 1958.

BOHN, G. W.; DAVIS, G. N. Relationships between boron toxicity and resistance to two types of crown blight and to powdery mildew in muskmelon. **Hilgardia**, Califórnia, v. 39, n. 11, p. 325-339, 1968.

BOLDINI, J.M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Fitopatologia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

BRADSHAW, W. E.; HOLZAPTEL, C. M. Evolutionary response to rapid climate change. **Science**, Washington, v. 312, p. 1477-1478, jun. 2006.

BRASIER, C. M. *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. **Annales des Sciences Forestieres**, Austrália, v. 53, p. 347-358, 1996.

BROWN, J. K. M.; HOVMOLLER, M. S. Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impacts on plant disease. **Science**, Washington, v. 297, p. 537-541, 2002.

CARVALHO, V.L.; CUNHA, R.L.. CHALFOUN, S.M. Manejo ecológico das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 214/215, p. 101-114, 2002.

CARVALHO, A; MONACO, L.C. Transferência do fator caturra para o cultivar Mundo Novo de *Coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas, v. 31, p. 379-399, 1972.

CARVALHO, A.; KRUG, C.A.; MANDES, J.E.T. O dimorfismo de ramos em *Coffea arabica* L. **Bragantia**, Campinas, 1950.

CHAKRABORTY, S. et al. Production and dispersal of *Colletotrichum gloeosporioides* spores on *Stylosanthes scabra* under elevated CO₂. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 108, p. 381-387, 2000.

CHAKRABORTY, S. et al.. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australasian Plant Pathology**, Dordrecht, v. 27, p. 15-35, 1998.

CIBES, H. R.; PEREZ, M. Minador de la Hoja disminuye en grado considerable el vigor de los cafetales. **El café de El Salvador**, El Salvador, v. 28, p. 325-326, 1958.

CONCEIÇÃO, C. H. C.; GUERREIRO-FILHO, O; GONÇALVES, W. Flutuação populacional do bicho-mineiro em cultivares de café arábica resistentes à ferrugem. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 625-631, jan. 2005.

CONCEIÇÃO, C.E.C. **Biologia, dano e controle do bicho-mineiro em cultivares de café arábica**. 2005. 105f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Departamento de Tecnologia da Produção Agrícola, Instituto Agrônomo, Campinas, 2005.

DEL PONTE, E. et al. Análise de risco de epidemia de ferrugem asiática da soja sob cenário de mudança climática no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 34 (Suplemento), p. S.42, 2008.

DOBBERTIN, M. et al. Linking increasing drought stress to scots pine mortality and bark beetle infestations. **The Scientific World Journal**, New York, v. 7, p. 231-239, 2007.

EASTBURN, D.M.; McElroneb. A. J. and Bilgin, D. D. Influence of atmospheric and climatic change on plant–pathogen interactions. **Plant Pathology**, Oxford, v. 60, p. 54-69, 2011.

EASTBURN, D.M. et al. Elevated atmospheric carbon dioxide and ozone alter soybean diseases at SoyFACE. **Global Change Biology**, Oxford, v. 16, p. 320–30, 2010.

ESKES, A.B. The use of leaf disk inoculations in assessing resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). **Netherlands Journal of Plant Pathology**, Wageningen, v. 88, p. 127-141, 1982.

FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de Café IAC apropriadas para o plantio adensado. Instituto Agrônomo de Campinas, **Folder** 3p., 2000.

FIORAVANTI, C. O cardápio dos próximos anos. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, v. 198, p. 41-44, ago. 2012.

GALLO, D. et al. **Manual de Entomologia Agrícola**. São Paulo: Ceres, 1978. 531p.

GÓRIA, M. M. **Impacto do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre a brusone do arroz**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp – Campus de Botucatu, Botucatu, 2009.

GUZZO, S.D. **Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência sistêmica adquirida em cafeeiro contra *Hemileia vastatrix***. 2004. 236f. Tese (Doutorado em Ciências/Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impactos das Mudanças Climáticas sobre doenças de Importantes Culturas no Brasil**. 1 ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011, 356 p.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 98-107, dez. 2008. Special number.

GHINI, R. et al. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 187–94, fev. 2008.

GHINI, R. et al. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 197–204, mai/jun 2007.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. 1 ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005, 104 p.

GREE, G. Epidemiology of coffee leaf rust in the Eastern Highlands. **Newsletter - Coffee Research Institute**, Austrália, v. 2, p. 16-20, 1993.

GRÜTER, D.; SCHMID, B.; BRANDL, H. Influence of plant diversity and elevated atmospheric carbon dioxide levels on belowground bacteria diversity. **BMC Microbiology**, Londres, v. 6, p. 1-8, 2006.

HANNUKKALA, A. O. et al. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933–2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. **Plant Pathology**, Oxford, v. 56, p. 167-176, 2007.

HIBBERD, J.M.; WHITBREAD, R.; FARRAR, J.F. Effect of elevated concentrations of CO₂ on infection of barley by *Erysiphe graminis*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 48, p. 37-53, 1996.

INDEX FUNGORUM (CABI, CBS, Landcare Research-NZ), 2008. Disponível em: <<http://www.indexfungorum.org/names/names.asp>>. Acesso em: 18 fev. 2011.

IPCC. **Climate Change 2007: the physical science basis**. Cambridge, Cambridge University Press, 2007, 996p, (IPCC Assessment Report, 4).

KATIYAR, K. P.; FERRER, F. **Technique biology and sterelization of the coffee leaf miner**. *Leucoptera coffeella* Guér (lepidoptera-lyonetiidae). Viena: Internacional Atomic Energy, IAEA, 1968, p.165-175.

KOBAYASHI, T. et al. Effects of elevated atmospheric CO₂ concentration on the infection of rice blast and sheath blight. **Phytopathology**, St. Paul, v. 96, n. 4, p. 425–431, 2006.

KURZ, W. A. et al. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. **Nature**, Londres, v. 452, n. 24, p. 987-990, abr. 2008.

LAKE, J.A.; Wade, R. N. Plant-pathogen interactions and elevated CO₂ : morphological changes in favour of pathogens. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 11, p. 3123–3131, 2009.

LAKHDAR LAMARI, ASSESS. **Image Analysis Software for Plant Disease Quantification**. Versão 2.0, Winnipeg, Canadá, 2002-2008.

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**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 385-392, 2009.

LÓPES-DUQUE, S.; FERNÁNDEZ-BORRERO, O. Epidemiologia de la mancha de hierro del cafeto (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.). **Cenicafé**, Caldas, p. 3-19, 1969.

LÜTHI, D. et al. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. **Nature**, Londres, v. 453, n. 15, p. 379-382, mai. 2008.

MAGALHÃES, A.C.N. Efeito da redução da superfície foliar sobre o desenvolvimento de cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v. 23, p. 337-342, 1964.

MALHI, Y.; MEIR, P.; BROWN, S. Forests. carbon e global climate. **Philosophical Transaction of the Royal Society of London Series A – Mathematical. Physical and Engineering**, v.360, p.1567-1591, 2002.

MANNING, W. J.; TIEDEMANN, A. V. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃) and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 88, p. 219-245, 1995.

MAPA. Informe estatístico do café. setembro de 2012, Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 09 nov. 2012.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos futuros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 1-18, 2001.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil, novo manual de recomendações**. MAPA/PROCAFÉ e Fundação Prócafé, 2005, 434p.

MATIELLO, J.B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991, 320p. (Coleção do agricultor: Grãos).

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil**. Pequeno manual de recomendações. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1986, 214 p.

MATOS, J.W. **Expressão da resistência ao bicho mineiro em *C. canephora* e *C. congensis***. 2001. 75f. Dissertação (Mestrado), Instituto Agronômico, Campinas, 2001.

MCELTRONE, A.J. et al. Elevated CO₂ reduces disease incidence and severity of a red maple fungal pathogen via changes in host physiology and leaf chemistry. **Global Change Biology**, Oxford, v. 11, p. 1828–1836, 2005.

MELLOY, P. et al. Production and fitness of *Fusarium pseudograminearum* inoculum at elevated carbon dioxide in FACE. **Global Change Biology**, Oxford, v. 16, p. 3363–73, 2010.

MOORE, L. D.; WILLS, W. H. Calcium nutrition in relation to the black shank disease of tobacco. **Plant Disease Reporter**, Estados Unidos, v. 51, n. 8, p. 641-644, 1967.

NOSENGO, N. Fertilized to death. Londres, v. 425, p. 894-895, 2003.

ORMOND, J. G. P.; PAULA, S. R. L.; FILHO, P. F. **Café: (Re)conquista dos mercados.** BNDES Setorial, n. 10, p. 3-56, Rio de Janeiro, set. 1999.

OSSWALD, W. F.; FLEISCHMANN, F.; HEISER, I. Investigations on the effect of ozone, elevated CO₂ and nitrogen fertilization on host-parasite interactions. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 32S, p. S111-S113, 2006.

PAOLETTI, E.; LONARDO, V. Di. *Seiridium cardinale* cankers in a tolerant *Cupressus sempervirens* clone under naturally CO₂ -enriched conditions. **Blackwell Wissenschafts, Verlag**, Berlin, v. 31, p. 307-311, 2001.

PARRA, J.R.P. Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepidoptera - Lyonetiidae) visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 29, p. 245-76, 1985.

PARRA, J. R. P. **Bioecologia de *Perileucoptera coffeella* (GUÉRIN-MENEVILLE. 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em condições de campo.** 1975. 114 f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) - ESALQ/USP, Piracicaba.

PATRICIO, F. R. A.; BRAGHINI, M. T. e FAZUOLI, L. C. **Resistência de plantas de *coffea arabica*, *coffea canephora* e híbridos interespecíficos à cercosporiose.** *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 4, p. 883-890, mar. 2010.

PEREIRA, A. A. Uso da resistência genética no manejo integrado de doenças do cafeeiro. XXXVI Congresso Brasileiro de Fitopatologia - Manejo Integrado de Doenças de Plantas, Uberlândia/MG. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 129-137, 2003.

POZZA, E.A.; ALVES, M.C. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil. In: GHINI, R. HAMADA, E. (ed) **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil.** Brasília: Embrapa/SCT, 2008, p. 215-233.

POZZA, E.A. **Manejo integrado de doenças do cafeeiro.** UFLA: Lavras. Apostila curso Lato sensu, 111p., 2004.

PLESSL, M. et al. Influence of elevated CO₂ and ozone concentrations on late blight resistance and growth of potato plants. **Environmental and Experimental Botany**, Alemanha, v. 60, p. 447-57, 2007.

PRITCHARD, S.G.; AMTHOR, J.S. Crops and environmental change. **Binghamton: Food Products Press**, 2005, 421p.

REIS, P.R.; SOUZA, J.C. Pragas do Cafeeiro. In: RENA. A. B. et al. (Ed.). **Cultura do Cafeeiro: Fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Potafós, 1986, 447p.

REIS, P. R.; LIMA, J. O. G.; SOUZA, J.C. Flutuação populacional do bicho-mineiro das folhas do cafeeiro. *Perileucoptera coffeella* (Lepidoptera- Lyonetiidae) nas regiões cafeeiras do Estado de Minas Gerais e identificação de inimigos naturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS. 3., Curitiba, **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1975, p. 217-218.

RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMAHA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986, 447p.

REZÁCOVÁ, V. et al. Saprobic microfungi under *Lolium perenne* and *Trifolium repens* at different fertilization intensities and elevated atmospheric CO₂ concentration. **Global Change Biology**, Oxford, v. 11, p. 224-230, 2005.

RIBEIRO, I. J. A. et al. Efeito de alta temperatura no desenvolvimento de *Hemileia vastatrix* em cafeeiro suscetível. **Bragantia**, Campinas, v. 37, n. 2, p. 11-16, jan. 1978.

ROGERS, H. H.; DAHLMAN, R. C. Crop responses to CO₂ enrichment. **Vegetatio**, Holanda, v.104(105), p.117-131, 1993.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do Café: Tratos Fitossanitários**. 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2008, Cap. 6, p. 307-345.

SANTOS, M. S. **Efeito do aumento da concentração de dióxido de carbono do ar sobre a murcha de Ceratocystis em mudas clonais de eucalipto**. 2011. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp – Campus de Botucatu, Botucatu, 2011.

SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, p. 501-509, ago. 2001.

SIEGENTHALER, U. et al. Stable carbon cycle-climate relationship during the late Pleistocene. **Science**, Washington, v. 310, n. 25, p. 1313-1317, nov. 2005.

SOUZA, J.C.; REIS, P.R.; RIGITANO, R. L. **O bicho mineiro do cafeeiro: biologia, danos e manejo integrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998, 48p. (Boletim Técnico. 54).

THOMAZIELLO, R.A. et al. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000, 82 p. (Boletim técnico. IAC n.º 187).

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, E.M. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H. et al. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005, p. 165-180.

WEART, S. R. **The Discovery of Global Warming**. 2.ed. Cambridge: Harvard University, 2008, 200 p.

WOODS, A.; COATES, K. D.; HAMANN, A. Is an unprecedented Dothistroma needle blight epidemic related to climate change? **BioScience**, Washington, v. 55, n. 9, p. 761-769, set. 2005.

WALKER, D.W.; QUINTANA, V. Mating and oviposition behavior of the coffee miner. *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera - Lyonetiidae). **Proceedings of the Entomological Society of Washington**, Washington, v. 71, n. 1, p.88-90, 1969.