

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DO AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂
ATMOSFÉRICO SOBRE O OÍDIO, A FERRUGEM E O
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA**

RICARDO CONTREIRA LESSIN

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Proteção de Plantas).

BOTUCATU-SP

Agosto – 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DO AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂
ATMOSFÉRICO SOBRE O OÍDIO, A FERRUGEM E O
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA**

RICARDO CONTREIRA LESSIN

Orientador: Prof.^a Dr.^a Raquel Ghini

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Proteção de Plantas).

BOTUCATU-SP

Agosto-2008

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

L639e Lessin, Ricardo Contreira, 1980-
Efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre o oídio, a ferrugem e o desenvolvimento de plantas de soja / Ricardo Contreira Lessin. - Botucatu : [s.n.], 2008.
xi, 67 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008
Orientador: Raquel Ghini
Inclui bibliografia.

1. Soja. 2. Microsphaera diffusa. 3. Phakopsora pachyrhizi. 4. Mudanças climáticas. I. Lessin, Ricardo Contreira. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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

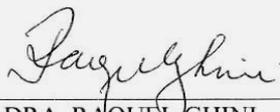
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EFEITO DO AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO
SOBRE O OÍDIO, A FERRUGEM E O DESENVOLVIMENTO DE PLAN-
TAS DE SOJA"

ALUNA: RICARDO CONTREIRA LESSIN

ORIENTADORA: PROFA. DRA. RAQUEL GHINI

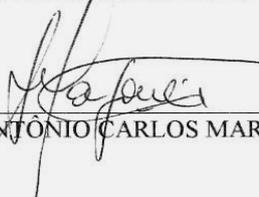
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFA. DRA. RAQUEL GHINI



DRA. FLÁVIA RODRIGUES ALVES PATRÍCIO



PROF. DR. ANTONIO CARLOS MARINGONI

Data da Realização: 18 de agosto de 2008.

DEDICATÓRIA

À minha mãe Marisa Contreira Lessin, ao meu pai Guilherme Henrique Lessin[†] e ao meu irmão Henrique Contreira Lessin, pelo amor e satisfação de tê-los sempre ao meu lado.

Em especial à minha madrinha Nícia Contreira Himelfarb pela força, credibilidade e amor a mim dedicado. Aos meus tios Luiz Himelfarb, Marlene Contreira Segatto, Gilberto Isidoro Dias Lopes Segatto, Eleni Contreira e Fábio Roberto Alves[†], pelo incentivo constante nos momentos de graduação e pós-graduação.

À Raquel Ghini, que além de me orientar neste trabalho, me inspira pela ética e profissionalismo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Maringoni pela gentileza durante o curso de pós-graduação;

A CAPES pela concessão de bolsas de estudo;

A todos os colegas do Programa de Pós Graduação em Agronomia Proteção de Plantas, em especial às amigas Élide Correa e Kelly Cristina, pela ajuda e incentivo nos momentos iniciais do curso;

Aos técnicos do laboratório da Embrapa Meio Ambiente, Márcia, Roseli, João e Elke, pelo auxílio durante a condução das análises laboratoriais;

Em especial ao José Abrahão H. Galvão, engenheiro agrônomo da Embrapa Meio Ambiente, que tanto me auxiliou nas experimentações realizadas, pela paciência e amizade;

A todos os estagiários e companheiros do laboratório de microbiologia da Embrapa Meio Ambiente;

A todos os funcionários da Embrapa Meio Ambiente pela colaboração e auxílio;

Aos professores e funcionários do Programa de Pós Graduação em Agronomia Proteção de Plantas pela colaboração;

A todos os meus familiares, pelo apoio e dedicação;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	X
1. Resumo.....	1
2. Summary.....	3
3. Introdução.....	5
4. Revisão de literatura.....	8
4.1. Cultura da soja.....	8
4.1.1. Características fisiológicas e exigências climáticas.....	9
4.2. Oídio da soja.....	10
4.2.1. Etiologia.....	11
4.2.2. Sintomas.....	12
4.2.3. Condições ambientais favoráveis à doença.....	14
4.3. Ferrugem asiática da soja.....	14
4.3.1. Etiologia.....	15
4.3.2. Sintomas.....	15
4.3.3. Condições ambientais favoráveis à doença.....	16
4.4. Mudanças climáticas globais.....	17
4.4.1. Impacto das mudanças climáticas na agricultura.....	19
4.4.2. Impacto das mudanças climáticas em doença de plantas.....	22
5. Material e Métodos.....	26
5.1. Estufas de topo aberto.....	26
5.2. Ensaio experimentais.....	28
5.3. Instalação do experimento.....	29
5.4. Obtenção do inóculo de <i>Microsphaera diffusa</i>	31
5.5. Avaliações.....	32

5.5.1. Oídio da soja.....	32
5.5.2. Ferrugem asiática da soja.....	33
5.5.3. Emergência de plântulas.....	33
5.5.4. Altura das plantas.....	34
5.5.5. Massa das plantas secas e nodulação de <i>Bradyrhizobium</i>	34
5.5.6. Comunidade microbiana do filoplano.....	34
5.5.7. Análise estatística.....	35
6. Resultados e Discussões.....	36
6.1. Temperatura média e concentração média de CO ₂ atmosférico.....	36
6.2. Severidade do oídio da soja.....	40
6.3. Severidade da ferrugem asiática da soja.....	45
6.4. Emergência de plântulas.....	49
6.5. Altura de plantas.....	50
6.6. Massa das plantas secas e nodulação.....	53
6.7. Comunidade microbiana do filoplano da soja.....	58
7. Conclusões.....	60
8. Referências Bibliográficas.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
Figura 1: Estufas de topo aberto.....	27
Figura 2: Croqui da parcela experimental.....	28
Figura 3: Croqui da parcela experimental com a disposição das cultivares, no Ensaio 3.....	30
Figura 4: Plântulas de soja.....	30
Figura 5: Temperatura média do ar em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 1.....	37
Figura 6: Concentração média de CO ₂ atmosférico em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 1.....	37
Figura 7: Temperatura média do ar em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.....	38
Figura 8: Concentração média de CO ₂ atmosférico em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.....	38
Figura 9: Temperatura média do ar em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.....	39

Figura 10: Concentração média de CO ₂ atmosférico em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.....	39
Figura 11: Severidade do oídio em folhas unifoliadas de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.....	41
Figura 12: Severidade do oídio em folhas unifoliadas de soja de quatro cultivares com diferentes de níveis de resistência: altamente suscetível (AS), suscetível (S), moderadamente resistente (MR) e resistente (R), no Ensaio 3.....	42
Figura 13: Severidade da ferrugem asiática em folhas unifoliadas de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.....	45
Figura 14: Severidade da ferrugem asiática no primeiro trifólio de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.....	45
Figura 15: Severidade da ferrugem asiática no segundo trifólio de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.....	46
Figura 16: Severidade da ferrugem asiática no terceiro trifólio de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.....	46
Figura 17: Severidade da ferrugem asiática no quarto trifólio de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.....	47

Figura 18: Altura da inserção de nós de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), 34 dias após o plantio, no Ensaio 2.....

Figura 19: Raízes das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T)..... 51

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Página
Tabela 1: Atributos do solo das parcelas experimentais.....	28
Tabela 2: Área abaixo da curva de progresso da severidade (porcentagem de área foliar lesionada) do oídio (AACPD) em folhas primárias e na planta inteira de quatro cultivares de soja com diferentes níveis de resistência, cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.....	43
Tabela 3: Esporulação do oídio pela área foliar aproximada (Log ₁₀) em folíolos de quatro cultivares de soja com diferentes níveis de resistência cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio.....	44
Tabela 4 Área abaixo da curva de progresso da severidade (porcentagem de tecido lesionado lesionada) da ferrugem asiática da soja (AACPD) na planta inteira de soja em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T).....	47
Tabela 5: Esporulação da ferrugem asiática pela área foliar aproximada (Log ₁₀) em folíolos do primeiro e segundo trifólio da soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T).....	48

Tabela 6: Emergência de quatro cultivares de soja com diferentes níveis de resistência ao oídio: altamente suscetível (AS), suscetível (S), moderadamente resistente (MR) e resistente (R), cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), 21 dias após o plantio, no Ensaio 3.....	49
Tabela 7: Altura das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), Ensaio 1.....	50
Tabela 8: Altura das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), Ensaio 2.....	51
Tabela 9: Altura das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.....	52
Tabela 10: Altura final das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.....	52
Tabela 11: Massa da parte aérea, massa de raiz, número de nódulos, massa de nódulos frescos e massa de nódulos secos de plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), nos Ensaio 1, 2 e 3.....	54
Tabela 12: Massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, número de nódulos, peso de nódulos frescos e peso de nódulos secos de quatro de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.....	55
Tabela 13: Comunidade microbiana do filoplano das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO ₂) ou sem (E) injeção de CO ₂ e sem estufa (T), nos Ensaio 1 e 3.....	59

1. RESUMO

Os níveis de concentração de CO₂ atmosférico estão se elevando nas últimas décadas devido principalmente à queima de combustíveis fósseis. Essa alteração atmosférica, além de intensificar o fenômeno do efeito estufa, pode afetar o comportamento de algumas plantas e microrganismos de interesse agrícola. O CO₂, por ser um componente básico da fotossíntese, em alta concentração, pode causar alterações na morfologia e nos processos fisiológicos das plantas, assim como na interação destas com fitopatógenos. Sendo assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da alta concentração de CO₂ atmosférico na severidade do oídio, causado por *Microsphaera diffusa*, e da ferrugem asiática, causado por *Phakopsora pachyrhizi*, na soja e também em alguns fatores relacionados ao desenvolvimento da planta que podem exercer influência na doença, como o crescimento, peso da matéria seca e nodulação. Foram realizados três ensaios em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), correspondendo às concentrações de, aproximadamente, 647 ppm, 474 ppm e 453 ppm, respectivamente. No primeiro ensaio, foram avaliadas características de desenvolvimento da planta; no segundo, a severidade da ferrugem asiática, que ocorreu de forma espontânea; e no terceiro, a severidade do oídio em quatro cultivares

com diferentes níveis de resistência. As cultivares foram: FT-Estrela, altamente suscetível (AS); Embrapa 48, suscetível (S); FT-Cometa, moderadamente resistente (MR) e FT-5 (Formosa), resistente (R). Nos resultados obtidos, foi verificado um aumento significativo na severidade do oídio, no tratamento com injeção de CO₂, em folhas primárias e na planta inteira das cultivares analisadas em conjunto, mas não houve alteração na expressão de resistência das cultivares. Para a ferrugem asiática, houve redução da severidade da doença com injeção do gás. A esporulação de ambos os patógenos não sofreu efeito no ambiente com injeção de CO₂. O efeito do CO₂ incrementou o crescimento e a nodulação das plantas, de modo geral; no entanto, o peso da matéria seca não se alterou significativamente. O CO₂ em altas concentrações na atmosfera pode alterar a severidade de doenças e, assim sendo, as estratégias de manejo fitossanitário da cultura.

Palavras-chave: *Microsphaera diffusa*, *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, mudanças climáticas globais

EFFECT OF ELEVATED ATMOSPHERIC CO₂ CONCENTRATION ON POWDERY MILDEW, RUST AND IN DEVELOPMENT OF SOYBEAN. Botucatu, 2008. 67p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RICARDO CONTREIRA LESSIN

Adviser: RAQUEL GHINI

2. SUMMARY

The concentration of atmospheric CO₂ is increasing in recent decades, mainly due to burning of fossil fuels. This atmospheric change can intensify the phenomenon of the greenhouse effect, and can affect the behavior of important agricultural plants and microorganisms. The CO₂, as a basic component of photosynthesis, in high concentrations, can cause changes in morphological and physiological processes of plants, as well as interaction with plant pathogens. Therefore, this study aimed to assess the effect of high concentrations of atmospheric CO₂ on the severity of powdery mildew in soybean, caused by *Microsphaera diffusa*, and also in some characteristics related to the development of the plant that may influence the disease, such as growth, weight of dry matter and nodulation. Three trials were developed under open-top chambers with (E+CO₂) or without (E) injection of CO₂ and without greenhouse (T), with the approximate concentrations of 647 ppm, 474 ppm, and 453 ppm, respectively. On the first trial, growth characteristics were evaluated, on the second, the severity of rust, caused by *Phakopsora pachyrhizi*, which occurred spontaneously; on the third, the severity of powdery mildew on four cultivars with different levels of resistance: FT-Estrela, highly susceptible (AS); Embrapa 48, susceptible (S); FT-Cometa, moderately

resistant (MR) and FT-5 (Formosa), resistant (R). The results, was found a significant increase in the severity of powdery mildew in the treatment with injection of CO₂ in leaves primary and in the whole plant of cultivars analyzed together, but there was no change in expression of resistance of cultivars. The severity of rust was significantly reduced with CO₂ enrichment. The sporulation of both pathogens not affected the environment with CO₂ injection. There was an increase on growth and nodulation of plants resulted by the injection of CO₂, however, the weight of dry matter has not changed significantly. High atmospheric CO₂ concentrations may alter the severity of diseases, and consequently, the strategies of disease management.

Keywords: *Microsphaera diffusa*, *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, global climate change

3. INTRODUÇÃO

A emissão demasiada de gases de efeito estufa para atmosfera, ocasionada pela ação humana, é a principal causa das mudanças climáticas. Dentre os gases responsáveis pela retenção parcial da radiação térmica no planeta, encontra-se o dióxido de carbono (CO_2), ozônio (O_3), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). O consumo de combustíveis fósseis e as mudanças de uso da terra estão entre os principais fatores responsáveis pelas emissões (IPCC, 2007). O processo de urbanização do planeta é extremamente intenso e pelo menos 85% dos gases de efeito estufa emitidos para atmosfera vêm dos grandes centros urbanos (CASTILHOS, 2006). A elevação da concentração desses gases na atmosfera tem contribuído consideravelmente para o aumento da temperatura da superfície do planeta (CUNHA, 2000). Desde o final do século XIX, a temperatura média da Terra aumentou cerca de 0,74 °C, e estima-se que em 2100 deva atingir de 1,8 a 6 °C. Além do aumento da temperatura média do planeta, outras alterações também estão sendo desencadeadas por consequência da intensificação do efeito estufa, dentre elas destacam-se alterações nos padrões de distribuição e intensidade de chuvas, ventos e circulação dos oceanos (IPCC, 2007).

As mudanças climáticas, além de causar alterações nas características físicas do planeta, ocasionam alterações também no comportamento das plantas cultivadas. Segundo Siqueira et al. (2001), qualquer mudança no clima pode afetar o zoneamento agrícola, as técnicas de manejo e a produtividade das culturas. Tais alterações podem representar sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais.

O CO₂ é um dos gases que apresenta aumento expressivo em concentração na atmosfera, sendo a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento os fatores que mais contribuem para a sua emissão indiscriminada. A partir do início da Revolução Industrial o CO₂ sofreu um aumento de 280 ppm para 379 ppm em 2005, excedendo as taxas naturais dos últimos 800 mil anos (180 a 300 ppm) (IPCC, 2007; LÜTHI et al, 2008). A taxa de crescimento anual da concentração de CO₂ atmosférico foi alta nos últimos dez anos (1995-2005 média: 1,9 ppm/ano) e a tendência é dobrar até 2050.

Altas concentrações de CO₂ na atmosfera tendem a favorecer o desenvolvimento das plantas. Por ser um componente básico da fotossíntese, o CO₂ em alta concentração pode promover alterações no metabolismo, crescimento e processos fisiológicos das plantas. Geralmente essas alterações resultam em benefícios para o desenvolvimento das plantas. Heinemann et al. (2006), em experimentos realizados sobre o efeito do ambiente enriquecido com 400 e 700 ppm de CO₂ em soja sob diferentes regimes de temperaturas (dia/noite), 20/15, 25/20 e 30/25°C, verificaram aumento no crescimento e no peso das sementes produzidas em ambiente com 700 ppm quando associadas às temperaturas mais baixas.

O estímulo que o CO₂ tende a causar nas plantas, juntamente com os efeitos da temperatura e precipitação, pode causar sérias alterações nas doenças de culturas de importância econômica. Hibber et al. (1996) verificaram maior crescimento de plantas saudas de cevada quando submetidas a ambiente com 700 ppm de CO₂. No entanto, para as plantas que foram submetidas à inoculação com oídio (*Erysiphe graminis*), foi verificado aumento significativo no crescimento da doença em 700 ppm de CO₂ quando comparado às plantas submetidas em 350 ppm. Em um levantamento realizado por Chakraborty et al. (1998) revisando estudos já realizados com o aumento de CO₂ em patógenos biotróficos, foi verificado aumento na severidade de seis doenças e redução em quatro. Esses efeitos podem potencializar a ação de algumas doenças de importância secundária.

Poucos trabalhos foram realizados sobre os efeitos potenciais do aumento da concentração de CO₂ sobre doenças de plantas. Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a severidade do oídio da soja, assim como em alguns fatores relacionados ao desenvolvimento da planta que podem exercer influência na doença, como o crescimento, peso da matéria seca e nodulação.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Cultura da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma espécie que teve como centro de origem o continente asiático, mais precisamente na região correspondente à China Antiga (Câmara, 1998). É uma planta pertencente à família Leguminosae, de porte ereto, crescimento determinado ou indeterminado, com estrutura variável (30 a 120 cm) e ciclo de cultura de 90-160 dias, dependendo da cultivar e da época de semeadura (JORGE et al., 1990).

Atualmente, a soja é uma cultura de grande importância econômica mundial, ou seja, uma “commodity” agropecuária. É cultivada em praticamente todo o mundo, porém os principais produtores são os Estados Unidos, China e América do Sul. A produção mundial na safra de 2004/2005 atingiu 216,3 milhões de toneladas, e a área total plantada de 92,6 milhões de hectares, movimentando nos mercados aproximadamente U\$ 215 bilhões/ano (SOJA, 2006).

A cultura da soja está presente também em todo o território nacional, desde as altas latitudes gaúchas até as baixas latitudes equatoriais-tropicais, apresentando em

algumas regiões brasileiras, médias de rendimentos superiores às médias obtidas pela soja norte-americana (CÂMARA, 1998). A produção média nacional alcançada na safra 2004/2005 foi de 50,19 milhões de toneladas em uma área plantada de 23,104 milhões de hectares, e com uma produtividade média de 2.173 kg/ha. O complexo agroindustrial nacional da soja no Brasil movimentava cerca de US\$ 30 bilhões/ano (SOJA, 2006).

4.1.1. Características fisiológicas e exigências climáticas

A soja é classificada como espécie de ciclo C_3 , pertencendo ao grupo das espécies de plantas cultivadas que fixam CO_2 pelo ciclo de Calvin, uma vez que os primeiros produtos estáveis da sua fotossíntese são as trioses denominadas de ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA) e glicerato, constituídas por três átomos de carbono (SEDIYAMA et al., 1985).

Nos processos fotossintéticos da fixação do CO_2 , ocorre a reação da carboxilação e posterior quebra da pentose denominada ribulose 1,5-difosfato (RuDP). Esta reação é catalisada pela enzima ribulose-difosfato-carboxilase, que apresenta menor afinidade pelo CO_2 e maior pelo O_2 , que são utilizados como substrato pela enzima. Em presença de maior concentração de O_2 , este substitui o CO_2 resultando na oxigenação da ribulose-difosfato, em vez de sua carboxilação. Conseqüentemente, não se forma o 3-PGA; em seu lugar, ocorre a síntese de fosfoglicolato que ao sofrer hidrólise enzimática origina o glicolato, substrato da fotorrespiração (CÂMARA, 2000).

Na realização da fotorrespiração, em baixa concentração de CO_2 atmosférico, ocorre considerável perda de energia que deveria ser utilizada para a formação de matéria orgânica viva. Trata-se de um mecanismo regulador da fixação de CO_2 , quando a pressão parcial de oxigênio é alta e a de dióxido de carbono é baixa. Para as espécies de ciclo C_3 existe uma concentração mínima ou crítica de CO_2 , abaixo da qual a planta não consegue fotossintetizar o 3-PGA, cessando a fotossíntese líquida e aumentando a respiração de suas reservas, que também serão consumidas pela fotorrespiração, até que a planta morra por inanição. Essa concentração mínima ou crítica de dióxido de carbono é denominada de ponto de compensação de CO_2 . Para a soja, considera-se que 40 ppm de CO_2 em ambiente a 25°C, seja o seu ponto de compensação. Estima-se que 10% a 50% do total do carbono fixado na

fotosíntese são perdidos por intermédio da fotorrespiração. (LEHNINGER, 1976; MÜLLER, 1981; SHIBLES et al., 1987).

Segundo Castiglioni et al. (2005), a soja melhor se adapta a temperaturas do ar entre 20°C e 35°C, e a temperatura ideal para o seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30°C. O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração e diminuição na capacidade de retenção de vagens.

A adaptação de diferentes cultivares em determinadas regiões depende, além das exigências hídricas e térmicas, de sua exigência fotoperiódica. A sensibilidade ao fotoperíodo é característica variável entre cultivares, ou seja, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é atrasado. Por isso, a soja é considerada planta de dia curto. Em função dessa característica, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul. Entretanto, cultivares que apresentam a característica “período juvenil longo” possuem adaptabilidade mais ampla, possibilitando sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes e de épocas de semeadura (CASTIGLIONI et al., 2005).

4.2. Oídio da soja

O oídio da soja é uma doença de distribuição mundial, encontrada em todos os países produtores de soja. Foi registrada pela primeira vez na Alemanha em 1921, e posteriormente foi observada nos Estados Unidos na Carolina do Norte em casa-de-vegetação em 1931, e a campo em 1945. Em Minnesota foi observada em casa-de-vegetação em 1972 e em 1974, a campo. Em Iowa, a primeira ocorrência foi registrada em 1973, em área experimental e, em 1975, em lavoura, atingindo níveis de danos econômicos. Na Geórgia, houve ocorrência generalizada e perdas significativas em algumas cultivares em 1972 e 1973. Desde então, o oídio foi relatado no Brasil, Canadá, China, Índia, Porto Rico e África do Sul. Na safra 1997/98 foi detectado pela primeira vez em Tucuman, Argentina. Na Bolívia, desde 1998, passou a ser limitante à produção de semente que é feita no inverno (SARTORATO & YORINORI, 2001).

No Brasil, a doença foi constatada a campo no início dos anos 80 em Planaltina, DF e São Gotardo, MG (TANAKA et al., 1993). O oídio da soja começou a ter importância econômica a partir da safra 1995/96, sendo observado principalmente em casa-de-vegetação e a campo em cultivares tardias na Região Sul, nas regiões altas dos Cerrados, em altitudes acima de 800 m (Pato de Minas, Presidente Olegário e São Gotardo, em Minas Gerais) e em cultivos de inverno sob irrigação com pivô central, para multiplicação de semente na entressafra (Pedra Preta, Alto Taquari, no Mato Grosso) Na safra 1996/97, favorecida por um clima chuvoso e temperaturas amenas, uma epidemia de oídio atingiu as cultivares suscetíveis, envolvendo todas as áreas de produção de soja, dos Cerrados do Brasil Central ao Rio Grande do Sul. O primeiro ano de epidemia de oídio no Brasil, resultou em perdas médias nas cultivares suscetíveis estimadas entre 15 e 20%, com extremos variando de 50 a 60%. Após essa epidemia, houve alteração do clima nas safras subsequentes, com predominância de estiagem e altas temperaturas, restringindo as áreas mais afetadas nas regiões Sul (Centro e Sul do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e Cerrados, acima de 800 m de altitude. Em Guarapuava, sul do Paraná, na safra 96/97, o efeito do oídio sobre o rendimento da soja foi avaliado em 5,9%, sendo que o controle químico foi aplicado quando níveis de severidade da doença estavam entre 10 e 30%. O custo da aplicação correspondeu ao equivalente a 153 kg ha⁻¹ da soja, enquanto que o ganho em rendimento foi de 163 kg ha⁻¹. Em Arapoti, PR, a perda média de rendimento entre cultivares suscetíveis na safra 1997/98 foi de 27,2% (SARTORATO & YORINORI, 2001).

4.2.1. Etiologia

Inicialmente, essa doença era atribuída ao fungo *Erysiphe polygoni* DC. Ex. Merat, porém embora o mesmo possa infectar a soja, o fungo *Microsphaera diffusa* Cooke & Peck é reconhecido como principal causador da doença (TANAKA et al., 1993; SARTORATO & YORINORI, 2001). É um parasita obrigatório que se desenvolve em toda a parte aérea da soja, incluindo folhas, hastes, pecíolos e vagens. As características que diferenciam *E. polygoni* de *M. diffusa* são os apêndices dos cleistotécios. Em *M. diffusa*, os cleistotécios apresentam os apêndices bifurcados na sua extremidade, enquanto que em *E. polygoni*, não ocorre bifurcação. O patógeno infecta uma ampla gama de hospedeiros, desde as

plantas cultivadas até as plantas invasoras. Multiplica-se com abundância na fase imperfeita (conídios), sendo que a fase perfeita (ascósporos) nem sempre está presente. No Brasil, ainda não foi relatada a presença da forma perfeita de *M. diffusa* (SARTORATO & YORINORI, 2001).

O fungo produz micélio, conídios e cleistotécios na superfície da planta e haustórios intracelulares nas células epidérmicas. Os conídios são produzidos em cadeias, originados de conidióforos simples e curtos, têm a forma de barrilete ou de clava, com extremidades achatadas, medindo de 27,7 a 54,1 µm de comprimento e de 17,1 a 21,1 µm de largura. Os cleistotécios apresentam formato sub-esférico ou hemisférico, e quando maduros apresentam tamanho que varia de 55 a 126 µm de diâmetro. Até o presente momento não foi constatada a presença da forma perfeita do fungo em soja, em casa-de-vegetação ou a campo, no Brasil (SARTORATO & YORINORI, 2001).

4.2.2. Sintomas

O oídio da soja caracteriza-se por um crescimento superficial, de cor branca ou cinza claro e aspecto pulverulento, em toda parte aérea da planta, constituído pelo micélio denso e esporos do fungo. Os sintomas apresentados podem variar de clorose, ilhas verdes, desfolha acentuada ou combinações desses sintomas, dependendo da reação das cultivares. Manchas cloróticas e necrose nas nervuras indicam reação de hipersensibilidade. Todavia, o mais evidente é a própria estrutura (sinal) branca e pulverulenta do fungo sobre a superfície das partes infectadas (SARTORATO & YORINORI, 2001).

O fungo pode se desenvolver abundantemente sobre as partes infectadas sem apresentar sintomas visíveis. Com o passar dos dias, a coloração branca do fungo muda para castanho-acizentada, dando a aparência de uma cobertura de sujeira nas duas faces da folha. Lavouras afetadas pelo oídio podem ser distinguidas à distância pela coloração prateada da página inferior das folhas expostas pelo vento. Sob condição de infecção severa, a cobertura de micélio e frutificação do fungo impede a fotossíntese e as folhas secam e caem prematuramente. A antecipação da desfolha afeta o rendimento, reduzindo o tamanho e o peso dos grãos (SARTORATO & YORINORI, 2001).

Na haste e nos pecíolos, as estruturas do fungo adquirem colorações que variam de branca a cinza prateada, contrastando com a epiderme da planta, que adquire coloração que varia de cinza, arroxeadada a negra. Em cultivares altamente suscetíveis, a colonização das células epidérmicas das hastes impede a expansão do tecido cortical, ficando as hastes com leves rachaduras e cicatrizes superficiais, dando um aspecto de cortiça à superfície da haste. Os sintomas de oídio na fase final da doença podem ser confundidos com o crestamento foliar de *Cercospora*, doença de final de ciclo causada pela *Cercospora kikuchii* (Mats. & Tomoy) Chupp (SARTORATO & YORINORI, 2001).

As plantas doentes podem ter a fotossíntese e a transpiração afetadas, sendo que nos Estados Unidos têm sido registradas perdas de 10 a 25%, em campos severamente atacados. A severidade da doença em uma mesma cultivar tem sido menor em campo do que em casa-de-vegetação, a qual apresenta condições consideradas mais favoráveis ao seu desenvolvimento. No Brasil, a doença foi observada no campo em Planaltina, DF e São Gotardo, MG (TANAKA et al., 1993).

Tanto o patógeno como o desenvolvimento de sintomas, parecem ser afetados pela cultivar, idade e posição da folha e idade da planta no momento da inoculação. Em geral, as folhas inferiores de plantas mais jovens são mais suscetíveis do que as folhas superiores. As folhas unifoliadas, geralmente, são as mais infectadas quando a inoculação ocorre mais cedo, porém, à medida que a inoculação tarda, pode haver diferença de suscetibilidade da folha unifoliada e dos primeiros trifólios entre cultivares (SARTORATO & YORINORI, 2001).

A germinação dos conídios sobre a folha ocorre três horas após a inoculação e com oito horas o apêndice de infecção penetra nas células epidérmicas. O fungo penetra na cutícula e forma haustórios nas células epidermais, não infectando as células do mesófilo e não penetrando na câmara estomática. As colônias se formam à medida que as hifas se estendem e se ramificam. A formação de conídios pode se iniciar 108 horas após a inoculação. Com 144 horas da inoculação, a célula na extremidade do conidióforo forma um conídio bem definido podendo ter de três a cinco células por conidióforo (SARTORATO & YORINORI, 2001).

4.2.3. Condições ambientais favoráveis à doença

A infecção da soja por oídio é favorecida por temperaturas amenas (18-24)°C (ALMEIDA et al.,2005), média a alta umidade relativa do ar (50-90%), baixa incidência e intensidade de precipitação e quando as plantas encontram-se entre os estádios R1 (início da floração) e R6 (formação completa de sementes). Cada ciclo da doença, sob condições favoráveis, dura cerca de sete a dez dias. A campo tem sido observado que nas áreas de baixa fertilidade o oídio é sempre mais severo (BLUM et al., 2001).

Estudos sobre o efeito da temperatura no desenvolvimento do oídio realizados em casa-de-vegetação a 18, 24 e 30°C mostraram que, quanto mais baixa a temperatura, mais rápido e severo foi o desenvolvimento da doença. A temperatura mais favorável foi 18°C, sob a qual, as reações de resistência e suscetibilidade entre cultivares podem ser distinguidas aos sete dias da inoculação. O desenvolvimento micelial foi mais rápido entre as temperaturas de 18 a 24°C e interrompido a 30°C. Observações a campo mostraram que o desenvolvimento da doença foi mais rápido quando a temperatura do ar era inferior a 30°C, e quando a soja estava nos estádios entre o início de floração (R1) e enchimento pleno das vagens. Não há informações precisas sobre o efeito da umidade relativa, de precipitação, da radiação solar ou de outros fatores do ambiente que favoreçam o desenvolvimento do oídio na soja (SARTORATO & YORINORI, 2001).

4.3. Ferrugem asiática da soja

A ferrugem asiática da soja, causada por *Phakospsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow, destaca-se pela virulência e pela elevada taxa de progresso, causando reduções significativas no rendimento de grãos da cultura (BALARDIN et al., 2006). Essa doença foi relatada pela primeira vez no Brasil no final da safra de 2000/01, representando grande ameaça para os países do continente americano. A ferrugem ocorre em quase todas as áreas produtoras de soja do Brasil. Na safra 2002/03, no Brasil, a ferrugem asiática causou perdas estimadas em 4,011 milhões de megagramas ou o equivalente a US\$ 884,25 milhões,

enquanto em 2004, considerando perda de grãos, custo de controle e queda de arrecadação, os prejuízos foram da ordem de US\$ 2,28 bilhões. Os estados mais atingidos na safra 2003/04 foram Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais e São Paulo (ALVES et al., 2007). Até a safra 2004/05 já havia sido relatada na Austrália, Rússia, Coreia, Japão, China, Taiwan, Filipinas, Nepal, Índia, Nigéria, Moçambique, Ruanda, Uganda, África do Sul, Zâmbia, Zimbábue, Paraguai, Brasil e Argentina. No Brasil, já foi identificada em todos os estados produtores. O dano tem variado desde 10% a 91%. Na safra 2005/2006, o nível epidêmico que a doença atingiu em diversas regiões produtoras do Brasil, acarretou perdas estimadas em US\$ 5 bilhões. (AZEVEDO et al., 2006).

4.3.1. Etiologia

Duas espécies do gênero *Phakopsora* incidem na cultura da soja: *P. meibomiae* Arthur (Arthur) e *P. pachyrhizi*. *P. meibomiae* foi relatada pela primeira vez no Brasil em 1979, em Minas Gerais, sendo inicialmente classificada em função do hospedeiro como *P. pachyrhizi*. Até essa data, a única espécie presente no Brasil era *P. meibomiae*, considerada espécie menos agressiva e de ocorrência endêmica, em regiões com temperaturas mais amenas. *P. pachyrhizi* ocorre no Hemisfério Leste, desde 1902, sendo considerada altamente agressiva, causando danos de 10 a 40% na Tailândia, 10-90% na Índia, 10-50% no sul da China, 23-90% em Taiwan e 40% no Japão. Plantas severamente infestadas apresentam desfolha precoce, comprometendo a formação e o enchimento de vagens e o peso final dos grãos (GODOY & CANTERI, 2004).

4.3.2. Sintomas

Os sintomas são particularmente evidentes nas folhas, evoluindo desde urédias isoladas a áreas com profunda coalescência, quando provoca amarelecimento e prematura abscisão foliar. São agrupados em lesões de coloração bronzeada com duas ou cinco urédias e esporulação abundante ou formando lesões pardo-avermelhadas, com zero a duas urédias e esporulação esparsa (NAVARINI et al., 2007).

Sempre que o processo de infecção inicia-se a partir do estágio R1/R2 da soja, é observado aumento significativo do dano, embora a ocorrência da doença em estádios fenológicos mais avançados também possa acarretar danos muito elevados. Os sintomas podem surgir em qualquer momento do ciclo fenológico da cultura, porém tem surgido de forma mais freqüente em plantas próximas ou em plena floração. Os sintomas são observados mais freqüentemente nas folhas baixas, com lesões de cor amarela que se transformam em manchas de forma poligonal ou arredondada de coloração bronzeada a marrom. Um detalhe importante para diagnose precisa da doença é formação abundante de urédias apenas na face inferior das folhas. Estas ocorrem em forma de bolhas esbranquiçadas e brilhantes que explodem rapidamente, liberando grande quantidade de uredinósporos semelhantes a grãos de açúcar cristal (AZEVEDO et al., 2007).

Na interação planta-patógeno, a maioria dos eventos que levam ao estabelecimento de relações parasíticas ou à resistência do hospedeiro, ocorre em nível celular, tanto do lado do patógeno como da planta hospedeira. Para *Phakopsora apoda* (Har.& Pat.) Mains, um fungo causador de ferrugem com comportamento semelhante a *P. pachyrhizi*, foi observado que a penetração ocorre diretamente através da cutícula com preferência para a formação de apressórios nas junções das células da epiderme. No caso da *P. pachyrhizi* em soja, a penetração ocorre de forma direta sobre a cutícula com formação de apressório. A penetração ocorre após seis horas e uma vez dentro da célula da epiderme se expande para formar a vesícula epidermal e logo após a hifa de penetração atravessa a célula da epiderme e emerge no espaço intercelular no mesófilo (MAGNANI & ARAUJO, 2007).

4.3.3. Condições ambientais favoráveis à doença

O sucesso da infecção do patógeno depende da seqüência de eventos determinada pela germinação de esporos, formação de apressório e penetração. Cada um desses eventos e a conseqüente colonização e esporulação são influenciadas por fatores bióticos como interação patógeno-hospedeiro e fatores abióticos do ambiente. Entre os fatores abióticos, a temperatura e o molhamento foliar exercem papel fundamental, principalmente nos processos monocíclicos de germinação de infecção de *P. pachyrhizi* em soja (ALVES et al., 2007).

O intervalo de temperatura ótima para infecção ocorre entre 20 a 25°C. Nessas condições, e havendo disponibilidade de água livre sobre a superfície da planta, a infecção ocorre no período de 6 horas após a deposição do esporo, sendo que quanto maior a duração do molhamento foliar maiores serão as chances de sucesso no estabelecimento da infecção (ALVES et al., 2007). Molhamento foliar prolongado (10 h/dia), temperatura noturna entre 18 e 24°C, e chuvas freqüentes mostram-se como condições determinantes para o estabelecimento da doença. A dispersão da doença tem ocorrido a uma taxa superior a 1 m/dia. As infecções no início do florescimento produzem elevados níveis de dano, afetando também o teor de proteína no grão (NAVARINI et al., 2007).

4.4. Mudanças climáticas globais

A partir da Revolução Industrial se iniciou um aumento gradativo da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, e o acúmulo está sendo atribuído às atividades antrópicas, como o desmatamento, queima de combustíveis fósseis, atividades agrícolas e desenvolvimento urbano. Após serem realizadas análises químicas de bolhas de ar contidas em camadas profundas de geleiras polares, foi possível determinar com precisão o aumento expressivo de gases na atmosfera desde períodos pré-industriais.

Segundo o IPCC (2007) e Lüthi et al. (2008), o dióxido de carbono, o mais importante gás de efeito estufa, teve um aumento de 280 ppm para 379 ppm em 2005, excedendo as taxas naturais dos últimos 800 mil anos (180 a 300 ppm), e os principais causadores desse aumento são a utilização de combustíveis fósseis, desmatamento e agricultura. A taxa de crescimento anual da concentração de CO₂ atmosférico aumentou nos últimos dez anos (1995-2005 média: 1,9 ppm/ano) quando comparado com os valores obtidos nos últimos 45 anos (1960-2005 média: 1,4 ppm/ano), mesmo havendo pequenas variações da taxa ano a ano (IPCC, 2007). O metano excedeu valores pré-industriais de 715 ppb para 1774 ppb em 2005, e permaneceu quase constante desde 1990, e sua origem provém da agricultura e da utilização de combustíveis fósseis, tendo relativas contribuições de diferentes origens ainda não determinadas (LOULERGUE et al., 2008). O óxido nitroso teve um aumento a partir de valores pré-industriais de 270 ppb para 319 ppb em 2005, sendo que mais de um terço de todo

o óxido nitroso emitido para atmosfera é proveniente das atividades agrícolas, no entanto, a taxa de crescimento desse gás permaneceu quase constante desde 1980.

Paralelamente ao aumento da concentração desses gases na atmosfera, verifica-se também um aquecimento da superfície terrestre. Esse fenômeno climático é conhecido por aquecimento global, principal consequência do efeito estufa. O aquecimento global é uma evidência científica caracterizada pelo aumento das temperaturas médias do ar e oceanos, derretimento de neve e gelo e elevação do nível médio do mar. Onze dos últimos doze anos estão entre os doze anos mais quentes já registrados desde 1950. Nos últimos 100 anos (1906-2005), foi constatado um aumento de 0,74°C na temperatura média do planeta. A taxa de aquecimento anual dos últimos 50 anos (0,13°C por década) é quase duas vezes o valor do aquecimento para os últimos 100 anos (IPCC, 2007).

A manutenção da temperatura média do planeta ocorre principalmente pela presença de alguns gases na atmosfera denominados “gases de efeito estufa”. Dentre esses gases, os principais são: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), óxido de nitrogênio (NO_x) e ozônio (O₃). A capacidade de retenção da radiação térmica que esses gases apresentam quando a radiação solar incide na atmosfera é o que garante a temperatura da Terra por volta de 30°C mais quente, proporcionando condições para a existência de vida no planeta (LIMA, 2001).

Consensos científicos oficiais no mundo estimam um aumento na temperatura média do planeta para o fim do século XXI. Estimam-se aumentos potenciais de temperatura entre 1°C e 6°C até 2100 em média no planeta, uma vez incorporadas variações regionais. Pesquisas realizadas para o Brasil, obtidas a partir de modelos de equilíbrios atmosféricos projetam elevações em torno de 3°C a 5°C e um aumento médio no volume anual de chuvas em torno de 11%, com aumentos mais expressivos nas latitudes maiores (SIQUEIRA et al., 2001).

As mudanças climáticas globais vão além do aquecimento global e se caracterizam também pelas alterações dos padrões de chuva, vento e circulação dos oceanos. Tendências em longo prazo foram verificadas de 1900 até 2005, observando significativo aumento de precipitação nas regiões norte e sul da América, norte da Europa e regiões norte e central da Ásia. Secas têm sido observadas em Sahel, Mediterrâneo, sul da África e partes do sul da Ásia. Há evidências também sobre o aumento da intensidade de ciclones no norte do

Atlântico, correlacionados com o aumento da temperatura da superfície dos oceanos tropicais, e aumento também da intensidade de ciclones em algumas regiões dos trópicos (IPCC, 2007).

4.4.1. Impacto das mudanças climáticas na agricultura

A agricultura, por ser uma atividade econômica que depende das condições do clima, apresenta grande vulnerabilidade frente às mudanças climáticas. O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera está alterando o balanço energético do sistema climático (IPCC, 2007), e com isso, diversos efeitos potenciais poderão ser causados nos agroecossistemas.

As tendências dos impactos do aquecimento global na agricultura são discutidas por Siqueira et al. (2001), alertando para alterações no padrão sazonal, inter-sazonal e inter-anual de precipitação e evapotranspiração, pois com o ar aquecido há maior retenção de volume de água na atmosfera, e conseqüentemente aumento da precipitação em determinadas regiões. Ocorrerão reflexos no regime hidrológico, podendo aumentar ou diminuir a disponibilidade de água no solo, alteração do equilíbrio químico, físico e biológico do solo com impactos na fertilidade e potencial produtivo. O aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica, provocado pelas altas temperaturas, pode alterar a reciclagem de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio do ar e a intensidade de acidificação dos solos.

O aquecimento global poderá proporcionar ambientes mais chuvosos ou secos em algumas regiões causando irregularidade na distribuição de chuvas. A intensificação de chuvas em determinadas regiões pode aumentar o potencial de erosão, provocar inundações e assoreamento de rios. Em regiões que terão ausência de chuvas por longos períodos poderá ocorrer diminuição da cobertura vegetal em decorrência das secas expondo o solo a processos erosivos e de desertificação. Existe o risco de intrusão de sais nos estuários e aquíferos, especialmente em áreas costeiras em decorrência da elevação do nível do mar (SIQUEIRA et al., 2001).

O aumento da temperatura tende a causar encurtamento no período vegetativo das plantas, acelerando a fenologia do crescimento e mudanças na duração do período reprodutivo e enchimento de grãos, alterando de maneira negativa seu potencial produtivo (SIQUEIRA et al., 2001). O aquecimento global tende a causar efeitos no

zoneamento agrícola, principalmente no que diz respeito à tolerância das plantas ao calor e a faixa ótima de temperatura exigida pelas diferentes espécies cultivadas. O arroz, por exemplo, que apresenta faixa ótima de temperatura entre 15°C e 35°C, em temperaturas acima de 40°C terá efeitos prejudiciais na diferenciação da panícula e início da floração, comprometendo sua produtividade. A soja apresenta faixa ótima de temperatura entre 20°C e 35°C, a temperatura ideal para o seu desenvolvimento está em torno de 30°C, no entanto o seu crescimento vegetativo é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10°C, assim como temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração e diminuição na capacidade de retenção de vagens (CASTIGLIONI et al., 2005).

É importante ressaltar o efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico no desenvolvimento das plantas. A elevação do teor de CO₂ atmosférico pode promover alterações no metabolismo, crescimento e processos fisiológicos das plantas. As alterações que normalmente ocorrem nas plantas submetidas à alta concentração de CO₂ se estendem desde a maior eficiência no uso da água e do nitrogênio pela planta até obtenção de maior comprimento, diâmetro, número de frutos, produção de biomassa, maior capacidade de reprodução; porém, a qualidade nutricional dos alimentos produzidos por algumas espécies pode ser afetada negativamente (GHINI, 2005). Geralmente, essas alterações resultam em benefícios para o desenvolvimento das plantas, entretanto pode haver diferença no comportamento entre as espécies, variedades e tipo de metabolismo realizado. Em plantas como arroz, soja e trigo, que apresentam metabolismo do tipo C₃, existe a tendência dessas apresentarem maior crescimento do que as plantas que apresentam metabolismo do tipo C₄, como o milho, sorgo, cana e milho, no entanto plantas do mesmo grupo podem apresentar respostas diferentes (SIQUEIRA et al., 2001). Altas concentrações de CO₂, geralmente, causam um aumento significativo da taxa fotossintética, diminuição da taxa de transpiração por unidade foliar, enquanto a transpiração total da planta algumas vezes é aumentada, devido à maior área foliar. Tende também a melhorar a eficiência do uso da água pelas plantas como resultado do fechamento dos estômatos, mudanças na relação C:N, principalmente em ambientes que apresentem restrições quanto à disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes (GHINI, 2005).

O CO₂ em alta concentração na atmosfera tende a favorecer o desenvolvimento das plantas. Por ser um componente básico da fotossíntese, o CO₂ em alta

concentração pode promover alterações no metabolismo, crescimento e processos fisiológicos das plantas. Hibber et al. (1996) verificaram maior crescimento de plantas saudáveis de cevada quando submetidas a ambiente com 700 ppm de CO₂. Heinemann et al. (2006), em experimentos realizados sobre o efeito do ambiente enriquecido com 400 e 700 ppm de CO₂ em soja sob diferentes regimes de temperaturas (dia/noite), 20/15, 25/20 e 30/25°C, verificaram aumento no crescimento e no peso das sementes produzidas em ambiente com 700 ppm quando associadas às temperaturas mais baixas.

Braga et al. (2006) estudando os efeitos do aumento do CO₂ na produção de fitoalexinas em duas cultivares de soja, diferentes quanto à resistência ao cancro da haste, verificaram estímulo na fotossíntese, área cotiledonar e foliar somente nas cultivares resistentes quando submetidas a 720 ppm de CO₂. Esse resultado indica que o estímulo do aumento de CO₂ atmosférico sobre as plantas de soja pode variar entre as cultivares.

Brum & Finn (1981), ao estudar o efeito do aumento de CO₂ no crescimento, contensão de carboidratos não estruturais e atividade de nódulos nas raízes da soja, em curto e longo prazo, após 36 horas e 16 dias de exposição ao CO₂ elevado respectivamente, verificaram aumento no peso da matéria seca e carboidratos não estruturais das folhas, caule e pecíolos tanto em curto como em longo prazo. O peso da matéria seca de raízes, nódulos, atividade totais de nódulos sofreram aumento somente após 16 dias de exposição das plantas ao CO₂ elevado.

O aumento do CO₂ atmosférico também pode favorecer a planta num aspecto de desenvolvimento e desfavorecer em outro ao mesmo tempo. Aidar et al. (2002), ao estudar os efeitos do enriquecimento do CO₂ no estabelecimento de plântulas de jatobá em estufas de topo aberto submetidos a 340 ppm e 720 ppm de CO₂, verificaram aumento significativo na área foliar dos mesófilos e na fotossíntese em CO₂ elevado, no entanto desfavoreceu o estabelecimento das plântulas nesse ambiente, sendo mais acelerado em 340 ppm.

4.4.2. Impacto das mudanças climáticas em doenças de plantas

A ocorrência de doenças em plantas sempre esteve relacionada aos fatores do ambiente, portanto mudanças no padrão da temperatura média, precipitação, umidade relativa do ar e níveis de gases atmosféricos apresentam potencial em alterar o comportamento de algumas doenças. Segundo Ghini (2005), os efeitos das mudanças climáticas podem ser complexos, atuando isoladamente tanto no patógeno como no hospedeiro, assim como na interação existente entre ambos. As mudanças climáticas podem alterar também o comportamento de outros organismos que interagem com patógeno e o hospedeiro, como as plantas invasoras, insetos (vetores ou não vetores de doenças) e microrganismos (simbiontes, endofíticos, saprofíticos ou antagonistas).

É difícil prever como os microrganismos irão responder às mudanças do clima, pois estes são muito sensíveis às variações de precipitação e temperatura. Ainda não está claro como as condições hídricas podem ser alteradas na maioria das regiões agrícolas. De maneira geral, condições úmidas e quentes favorecem os microrganismos comparados às condições de frio e seca (PRICHARD & AMTHOR, 2005).

Alguns efeitos potenciais dessas mudanças podem ser discutidos um pouco mais detalhadamente com relação ao comportamento de fitopatógenos. A elevação da temperatura média em algumas regiões pode aumentar a distribuição temporal e espacial de fitopatógenos que requerem calor para o seu desenvolvimento. Chuvas e ventos mais frequentes e de alta intensidade podem aumentar a dispersão de patógenos, favorecendo o transporte de inóculos para áreas mais distantes das quais estes não se encontravam. Alterações no comportamento das estações do ano podem favorecer ou não a sobrevivência de alguns patógenos, sendo a temperatura e a precipitação os principais fatores (GHINI, 2005). Maior frequência nos períodos de seca pode desfavorecer patógenos de solo que não possuem estruturas de resistência para sobreviver, assim como temperaturas elevadas podem aumentar a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo desfavorecendo a sobrevivência de patógenos necrotróficos por longos períodos. Podem ocorrer também alterações no ciclo de vida dos patógenos, podendo aumentar ou diminuir em uma mesma estação de cultivo em razão da variação de temperatura (SIQUEIRA et al., 2001).

Três fatores relacionados às mudanças do clima e ao aumento de CO₂ atmosférico na ocorrência das doenças merecem destaque: efeitos nos danos ocasionados, efeitos na distribuição geográfica e efeitos na eficácia dos métodos de controle. Nos danos ocasionados pelas doenças, há possibilidades de ocorrer maiores perdas na produtividade de algumas culturas, no entanto esse efeito é relativo ao comportamento variado das diferentes espécies de patógenos e hospedeiros. A velocidade com a qual os patógenos irão se estabelecer em um novo ambiente é função da capacidade de dispersão e sobrevivência e das mudanças ecofisiológicas da planta hospedeira. É importante ressaltar que os patógenos tendem a acompanhar seus respectivos hospedeiros na mudança da sua distribuição geográfica (GHINI, 2005). No manejo das doenças, as mudanças climáticas adquirem importância econômica significativa tendo em vista que o custo da produção pode se elevar caso a doença seja favorecida. As mudanças climáticas podem afetar tanto a suscetibilidade do hospedeiro como a virulência de um patógeno; assim, algumas variedades que hoje apresentam algum tipo de resistência, em condições de estresse ambiental causado pelas mudanças do clima, podem se tornar mais predispostas e ao ataque de patógenos, ocorrendo uma quebra de resistência.

Os impactos provocados pelo aumento de CO₂ atmosférico na fisiologia das plantas podem modificar a ocorrência de algumas doenças e interferir nas relações patógeno-hospedeiro (MANNING & TIEDEMANN, 1995; CHAKRABORTY et al., 1998). Dentre elas destacam-se algumas já discutidas por Chakraborty et al. (2000a), como a redução da densidade de estômatos, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, maior camada de cera e células da epiderme, aumento do teor de fibras e papilas nos locais de penetração, aumento do teor de silício, aumento na resposta de defesa das plantas e aumento do número de células do mesófilo. Essas alterações ocasionadas no hospedeiro podem alterar o início e a duração dos estádios de desenvolvimento do patógeno, a capacidade de multiplicação e ocasionar desenvolvimento mais acelerado das populações e conseqüente quebra de resistência do hospedeiro (GHINI, 2005).

Braga et al. (2006), estudando os efeitos do aumento do CO₂ na produção de fitoalexina em duas cultivares de soja, diferentes quanto à resistência ao cancro da haste, verificaram um aumento significativo na produção desse componente antimicrobiano nas duas cultivares em ambiente enriquecido com 720 ppm de CO₂ quando comparados à ambiente com 360 ppm, sendo mais expressivo na cultivar resistente. Esse

trabalho indica que mudanças nos níveis de CO₂ atmosférico podem causar impactos na resposta de defesa da planta a patógenos.

Alguns estímulos que o CO₂ proporciona às plantas tendem a causar alterações no comportamento de doenças, interferindo no ciclo das relações patógeno-hospedeiro. O estímulo da produção de biomassa (brotações, folhas, flores e frutos) pode dispor maior quantidade de tecido a ser infectado pelo patógeno; aumento no teor de carboidrato tende a estimular os patógenos dependentes de açúcares como oídios e ferrugens; aumento da densidade da copa e tamanho das plantas pode criar um microclima mais favorável promovendo o crescimento, esporulação e disseminação do patógeno; aumento de resíduos orgânicos produzidos pelas culturas é fator que pode favorecer a sobrevivência de alguns patógenos de solo; redução na abertura dos estômatos tende a dificultar a colonização por patógenos que utilizam esse meio para a penetração; e redução do período vegetativo pode diminuir o período de infecção dos fungos biotrófico e aumentar para os necrotróficos (MANNING & TIEDEMANN, 1995).

Chakraborty et al. (2002b), ao estudar o efeito do CO₂ elevado na produção e dispersão de esporos de *Colletotrichum gloeosporioides* em *Stylosanthes scabra*, verificaram redução da severidade da antracnose em ambiente enriquecido com 700 ppm de CO₂ quando comparado a ambiente com 350 ppm. Segundo esses autores, isso se deve à redução da germinação dos esporos e extensão do período de incubação em 700 ppm de CO₂, tanto para cultivares resistentes como para suscetíveis. Neste mesmo trabalho foi estudado também o efeito em longo prazo do CO₂ elevado na adaptação de *C. gloeosporioides* e no aumento de sua agressividade a *S. scabra*, sendo verificada redução no número de ciclos do patógeno em 700 ppm de CO₂ quando comparado a 350 ppm, concluindo que a taxa de adaptação no aumento de agressividade pode ser mais lenta em CO₂ elevado.

Hibber et al. (1996), ao estudar o efeito da elevada concentração de CO₂ atmosférico na infecção da cevada por *Erysiphe graminis*, agente causador do oídio, observaram menor porcentagem de conídios que penetraram e formaram de colônias em 700 ppm quando comparados a 350 ppm de CO₂. Segundo os autores, isso se deve ao efeito do CO₂ sobre o patógeno, pois mesmo havendo o aumento epicuticular de cera das folhas em 700 ppm, este não proporcionou o aumento da resistência à penetração primária do patógeno. Relataram também taxas reduzidas de penetração primária em 700 ppm para altas taxas da

rede fotossintética que permitiu maior mobilização de recursos de resistência incluindo produção de papilas e acúmulo de silício nos sítios de penetração apressorial. No entanto, as colônias estabelecidas tiveram crescimento mais acelerado em 700 ppm do que em 350 ppm, coincidindo com o acúmulo de carboidratos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Estufas de topo aberto

Para avaliar o efeito do CO₂ sobre o oídio da soja foram utilizadas estufas de topo aberto (“open-top chambers”, OTC), com 1,9 m de diâmetro e 2 m de altura, equipadas com um redutor de abertura do topo para deflexionar o ar e prevenir a diluição da concentração desejada de CO₂ dentro da estufa (Figura 1). As OTCs foram construídas com estrutura de tubo de ferro fosfatizado esmaltado (1 cm de diâmetro e 1,2 mm de espessura de parede) e laterais de filme de polietileno transparente, espessura de 150 µm, com tratamento contra raios ultravioleta. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio Ambiente, localizada na cidade de Jaguariúna/SP (latitude 22° 41’ sul, longitude 47° W. Gr.), entre o período de julho a outubro de 2007.

Tubos (5 mm de diâmetro) enterrados na profundidade de 15 cm, com a extremidade instalada no centro das parcela na altura de 50 cm do solo, conduziram as amostras de ar para análise. O monitoramento da concentração de CO₂ foi efetuado com o auxílio de um analisador infravermelho de gás (IRGA, marca P. P. Systems, modelo WMA-4,

0 a 2000 ppm), que forneceu as informações para um multiplexador de corrente (marca Campbell Scientific, modelo SDM CD16AC) que regulou a abertura de válvulas para injeção de CO₂ na estufa (tratamento E+CO₂). O CO₂ puro foi injetado contra um ventilador para assegurar uma mistura adequada até a altura de 50 cm do solo. Estufas semelhantes à descrita, sem injeção de CO₂, foram utilizadas para comparações em condições de atmosfera atual (tratamento E). Além disso, parcelas sem a estufa (tratamento T) foram utilizadas como testemunha para verificar os efeitos da estrutura das OTCs.

Amostras de ar de todas as parcelas dos tratamentos (E+CO₂) e (E), e uma parcela do tratamento (T) foram continuamente coletadas e analisadas em intervalos de 10 minutos. Além disso, dentro de uma parcela de cada tratamento foram instalados sensores de temperatura do ar, cujas informações também foram registradas em intervalos de 10 min. Os dados foram armazenados em um coletor de dados (datalogger, marca Campbell Scientific, modelo CR 10X). O sistema de irrigação por gotejamento foi acionado manualmente, conforme as necessidades das plantas. Para cada tratamento (E+CO₂, E e T) foram feitas três repetições. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso.



Figura 1: Estufas de topo aberto

5.2. Ensaios experimentais

Foram conduzidos três ensaios experimentais em estufas de topo aberto. O primeiro ensaio (Ensaio 1) foi realizado entre o período de fevereiro a abril de 2007, o segundo ensaio (Ensaio 2) realizado entre o período de maio a julho de 2007, e o terceiro ensaio (Ensaio 3) realizado entre o período de julho a outubro de 2007.

As parcelas experimentais foram divididas em quatro quadrantes: primeiro quadrante (1ºQ), segundo quadrante (2ºQ), terceiro quadrante (3ºQ) e quarto quadrante (4ºQ). A divisão das parcelas em quadrantes teve a finalidade de facilitar as avaliações dos ensaios e a condução de outros experimentos realizados em consórcio. No Ensaio 1, o cultivo da soja foi realizado no 1ºQ, estando o 4ºQ sem cultivo e o 2ºQ e 3ºQ ocupados com mudas de café. No Ensaio 2, o cultivo da soja foi realizado no 4ºQ, estando o 1ºQ sem cultivo e o 2ºQ e 3ºQ ocupados com mudas de café. No Ensaio 3, o cultivo foi realizado no 1ºQ, 3ºQ e 4ºQ, estando o 2ºQ cultivado com feijão (Figura 2).

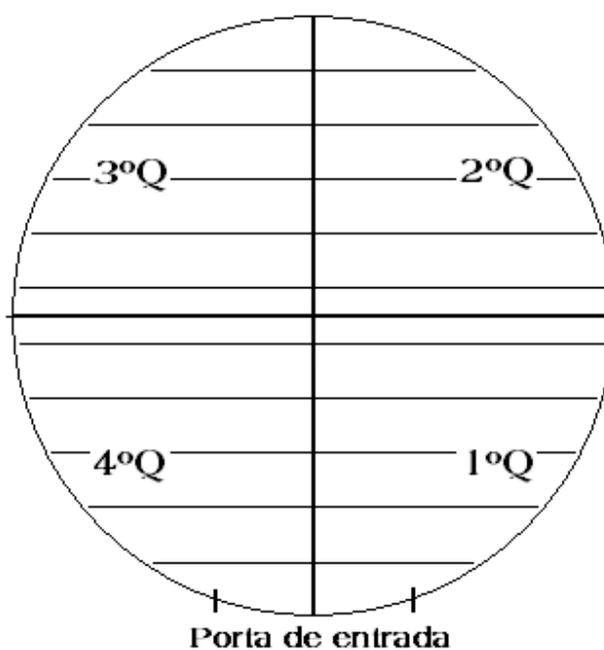


Figura 2: Croqui da parcela experimental.

5.3. Instalação do experimento

O preparo do solo foi realizado manualmente com a escarificação dos dez centímetros superficiais do solo das parcelas. Na adubação fez-se aplicação de N-P-K (10-10-10) na dosagem de 300 kg/ha baseada na análise química do solo (RAIJ et al., 1996). No Ensaio 3 também foi realizada adubação orgânica na dosagem de 7L/m² de condicionador de solo comercial por parcela. Os atributos relativos à fertilidade do solo antes da adubação podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Atributos do solo das parcelas experimentais.

Parcelas	Tratamento	pH		g/dm ³ (mg/dm ³)		----- mmolc/dm ³ -----						
		CaCl ₂	água	M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H	CTC	V%
3	E+CO ₂	5,4	5,8	20,0	4,4	0,90	27,0	8,0	1,0	30,0	66,9	53,7
5	E+CO ₂	5,4	6,0	20,0	2,2	0,79	30,0	13,0	1,0	21,0	65,8	66,6
7	E+CO ₂	5,4	6,1	23,0	6,6	2,07	37,0	17,0	1,0	19,0	76,1	73,7
2	E	5,5	6,1	23,0	11,1	1,20	38,0	14,0	1,0	24,0	78,2	68,0
4	E	5,3	5,9	25,0	4,4	3,87	30,0	13,0	1,0	24,0	71,9	65,2
9	E	5,0	5,6	22,0	4,4	0,95	20,0	9,0	2,0	36,0	67,9	44,1
1	T	5,4	6,0	45,0	17,7	3,02	30,0	17,0	1,0	24,0	75,0	66,7
6	T	5,2	6,0	22,0	2,2	1,28	30,0	10,0	1,0	30,0	72,3	57,1
8	T	5,1	5,8	24,0	6,6	0,97	24,0	8,0	1,0	3,0	64,0	51,5

Nos Ensaios 1 e 2, fez-se a semeadura da cultivar de soja FT-Estrela (fornecida pela UNESP/Jaboticabal), altamente suscetível ao oídio da soja (AS).

No Ensaio 3, foram semeadas quatro cultivares de soja (fornecidas pela Embrapa Soja) com diferentes níveis de resistência ao oídio: FT-Estrela, altamente suscetível (AS); Embrapa 48, suscetível (S); FT-5 (Formosa), resistente (R); FT-Cometa, moderadamente resistente (MR) (Figuras 3 e 4) (Yorinori, 1997).

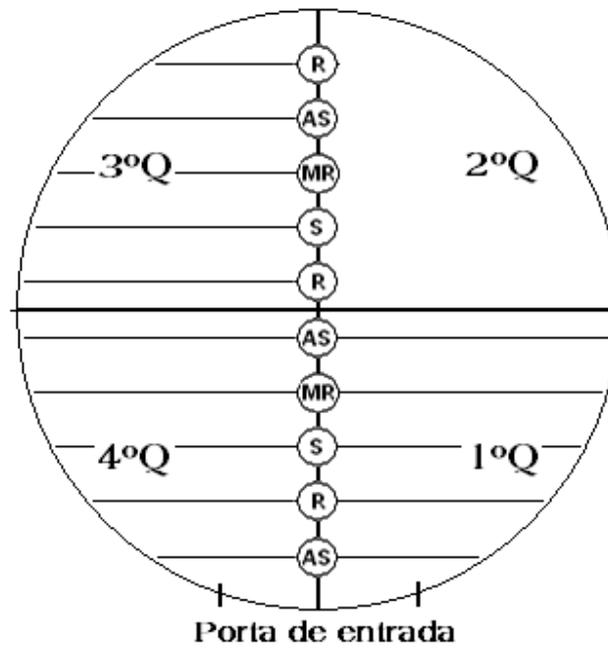


Figura 3: Croqui da parcela experimental com a disposição das cultivares, no Ensaio 3.



Figura 4: Plântulas de soja.

Nos três ensaios, as sementes de soja foram submetidas à inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio, *Bradyrhizobium* spp. (Biomax® Premium Turfa - Soja), na dosagem de 200g de inoculante/50kg de semente. O espaçamento utilizado nos plantios foi de 15 x 5cm, totalizando 5 linhas por quadrante. O controle das plantas invasoras foi realizado manualmente a cada 15 dias.

5.4. Obtenção do inóculo de *Microsphaera diffusa*

A obtenção de inóculo de *Microsphaera diffusa* foi realizada em duas fases sobre a cultivar de soja FT - Estrela (Altamente suscetível). Na primeira fase, as cultivares foram semeadas em vasos distribuídos em ambientes diferenciados (casa-de-vegetação de ventilação forçada e ambiente externo) a fim de se obter a fonte de inóculo. Após o aparecimento dos primeiros sintomas do oídio nas plantas de soja, foram realizadas mensalmente novas semeaduras com o intuito de manter o inóculo.

Na segunda fase, foram semeados 99 vasos de 0,5 L, contendo solo peneirado com adubação orgânica (condicionador de solo comercial). Após a germinação e o aparecimento do primeiro par de folhas primárias, plantas com sintomas de oídio da primeira fase de multiplicação foram agitadas levemente sobre as plântulas saudáveis e posteriormente distribuídas simetricamente nas suas proximidades a fim de promover a dispersão uniforme do inóculo.

As plantas ao atingirem o estágio V5 e severidade igual ou acima de 50% em média, na planta inteira, foram dispostas nas parcelas entre as linhas das cultivares de soja que se encontravam no estágio de desenvolvimento V3. Foram colocados 11 vasos por parcela, dispostos na borda e no centro dos quadrantes, permanecendo como fonte de inóculo por um período de três semanas.

5.5. Avaliações

No Ensaio 1, foram avaliados a microbiota do filoplano, altura de plantas, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes e o número e a massa de nódulos de *Bradyrhizobium* spp,. No Ensaio 2 foram avaliados a severidade da ferrugem asiática da soja, a esporulação de *P. pachyrhizi*, altura de plantas, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes e o número e a massa de nódulos de *Bradyrhizobium* spp. No Ensaio 3, foram avaliados a severidade do oídio, a esporulação de *Microsphaera diffusa*, altura de plantas, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes e o número e a massa de nódulos de *Bradyrhizobium* spp.

5.5.1. Oídio da soja

A avaliação do oídio da soja foi realizada somente no Ensaio 3, devido à falta de condições ambientais favoráveis para a ocorrência da doença nos períodos em que foram conduzidos os ensaios anteriores. Esta foi realizada pela estimativa da severidade da doença e esporulação do patógeno.

A avaliação da severidade da doença foi realizada com auxílio de escala diagramática elaborada por Mattiazzi (2003), por meio da estimativa da porcentagem de tecido lesionado (0,62%; 1,47%; 3,29%; 7,7%; 20,14% 27,05%; 43,6%; >60%) em folhas primárias e do folíolo central dos trifólios na planta inteira. Nessa avaliação foram escolhidas quinze plantas de cada cultivar da região central das parcelas. A primeira avaliação de severidade se iniciou dez dias após a exposição das plantas ao inóculo, quando se iniciaram os primeiros sintomas, com avaliações posteriores e a cada cinco dias, totalizando nove avaliações entre os estádios V4 e R4 de desenvolvimento da soja. Posteriormente, fez-se o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença.

Na avaliação da esporulação do oídio, foram feitas três coletas em épocas distintas (23, 38 e 53 dias após a exposição ao inóculo). Coletou-se o segundo trifólio de cada planta. Os folíolos foram destacados e colocados em frascos de vidro de 100 mL contendo 20 mL de solução Tween 80 (0,02%). Posteriormente, os frascos foram agitados manualmente e colocados em aparelho de ultra-som por 10 min. Após esse procedimento, fez-se a contagem dos esporos na câmara de Neubauer. As folhas utilizadas nessa determinação

foram medidas quanto ao comprimento e à largura para a determinação de esporos/cm² de folha

5.5.2. Ferrugem asiática da soja

A avaliação da ferrugem asiática da soja foi realizada somente no Ensaio 2, devido à sua ocorrência espontânea nas plantas de soja em todas as parcelas experimentais. Esta foi realizada pela estimativa da severidade da doença e esporulação do patógeno.

A avaliação da severidade foi baseada na escala diagramática de acordo com as normas de avaliação e recomendação de fungicidas para a cultura da soja (REUNIÃO, 2003). Estimou-se a porcentagem de tecido lesionado (0,6%; 2,0%; 7,0%; 18%; 42%; 78,5%) em folhas primárias e do folíolo central dos trifólios na planta inteira. A primeira avaliação realizou-se vinte e seis dias após o plantio, quando se iniciaram os primeiros sintomas. Foram feitas cinco avaliações (26, 35, 43, 50 e 65 dias após o plantio) entre os estádios V2 e V6 de desenvolvimento da soja. Posteriormente fez-se o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença.

Para a avaliação da esporulação de *P. pachyrhizi*, foram coletados o primeiro e o segundo trifólio das quinze plantas demarcadas anteriormente nas avaliações de severidade. A avaliação foi feita de forma semelhante à realizada para oídio.

5.5.3. Emergência de plântulas

A avaliação da emergência de plântulas foi realizada somente no Ensaio 3. Foram semeadas 80 sementes de cada cultivar por parcela. Na avaliação da taxa de emergência fez-se a contagem das plântulas no estágio VE (emergência) que apresentaram os cotilédones acima da superfície do solo, com os mesmos formando um ângulo de 90°, ou mais, com seus respectivos hipocólitos (BONATO, 2000). Através do total de plantas emergidas fez-se a transformação dos dados em porcentagem. Foram feitas duas avaliações, a primeira aos 14 dias após o plantio, e a segunda aos 21 dias após o plantio.

5.5.4. Altura das plantas

A altura das plantas foi determinada pela distância compreendida entre a superfície do solo e o ápice da haste principal da planta (MARCHIORI et al., 1999). Nos Ensaio 1 e 2 foram avaliadas quinze plantas por parcela, e no Ensaio 3 quinze plantas de cada cultivar por parcela.

5.5.5. Massa das plantas secas e nodulação de *Bradyrhizobium* spp.

A coleta e a determinação da massa das plantas secas e nodulação foi realizada nos três ensaios. Na coleta, as plantas foram cortadas rente ao solo, a parte aérea foi seca em estufa de ventilação forçada de ar a 60°C até o peso constante e o peso das plantas secas foi determinado. A coleta das raízes foi realizada num círculo de aproximadamente de 15 cm ao redor das plantas e a uma profundidade de 20 cm. Em seguida, as raízes foram lavadas em água corrente sobre uma peneira, e os nódulos destacados para a contagem. Determinou-se também o peso de raízes e nódulos secos das plantas (MALTY et al, 2006).

5.5.6. Comunidade microbiana do filoplano

Nos Ensaio 1 e 3, o isolamento de microrganismos habitantes do filoplano foi realizado 31 dias após o plantio na cultivar FT-Estrela, com as plantas de soja no estágio de desenvolvimento V4 (quarto nó, 3º trifólio aberto). Fez-se a coleta do segundo trifólio de três plantas distintas escolhidas aleatoriamente dentro de cada parcela. Em seguida, as folhas foram destacadas de seus respectivos trifólios em ambiente asséptico e imediatamente imersas em 100 mL de solução tampão fosfato. Posteriormente, a solução tampão contendo as folhas foram submetidas a tratamento com ultra-som por 10 minutos (GHINI & VITTI, 1993). Foram feitas três diluições para cada uma das nove parcelas: 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} , com três repetições cada. Alíquotas das suspensões obtidas foram transferidas para placas de Petri contendo meios de cultura específicos: King B (KB) para colônias bacterianas, Extrato de Malte (EM) para seleção de leveduras e meio de Martin (MM) para seleção de *Trichoderma* spp. (MELO & SANHUEZA, 1990). Para o isolamento seletivo de bactérias do

gênero *Bacillus*, a primeira diluição (10^{-1}) foi submetida a banho-maria de 80°C por 10 minutos antes do plaqueamento em BDA (BETTIOL, 1990).

5.5.7. Análise estatística

Para fins de análise, os valores observados para severidade, esporulação, microrganismos do filoplano, altura de plantas, massa seca das plantas e o número e peso de nódulos secos foram submetidos à análise de variância realizada no programa MINITAB versão 14. Quando os tratamentos diferiram significativamente pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Os experimentos foram analisados em delineamento de blocos casualizados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Temperatura média e concentração média de CO₂

No Ensaio 1, a temperatura média e a concentração média de CO₂ atmosférico dos tratamentos (T), (E) e (E+CO₂) foram respectivamente: 24,10°C; 26,38°C; 25,86°C e 474 ppm; 500 ppm e 651 ppm (Figuras 5 e 6). No Ensaio 2, foram respectivamente: 19,54°C; 21,34°C; 20,90°C e 448 ppm; 463 ppm; 664 ppm (Figuras 7 e 8). No Ensaio 3, foram respectivamente: 22,02°C; 23,27°C; 22,60°C e 439 ppm; 461 ppm; 627 ppm (Figuras 9 e 10).

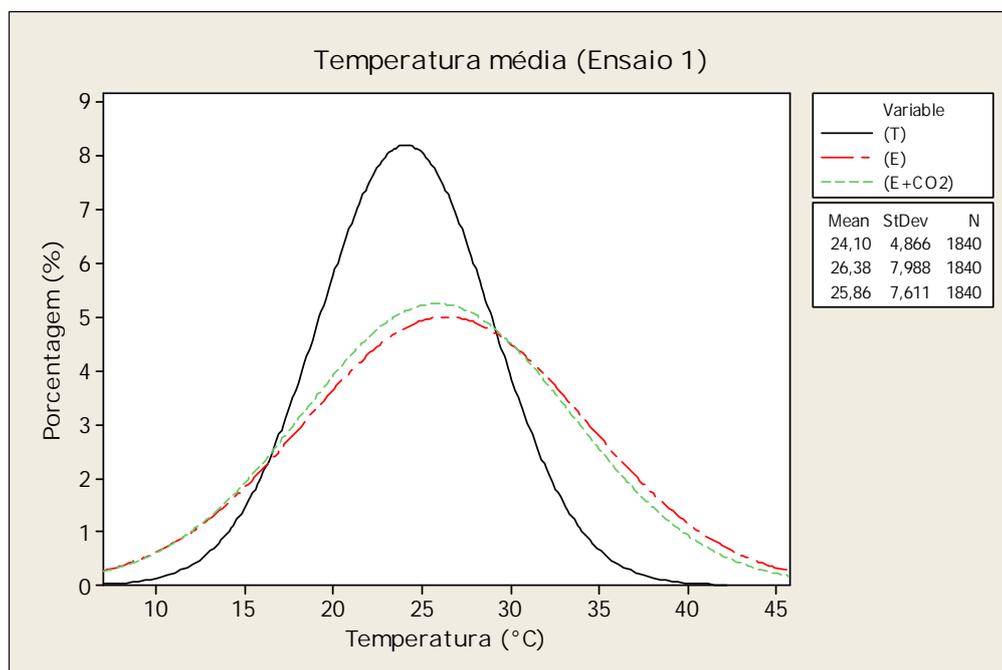


Figura 5: Temperatura média do ar em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 1.

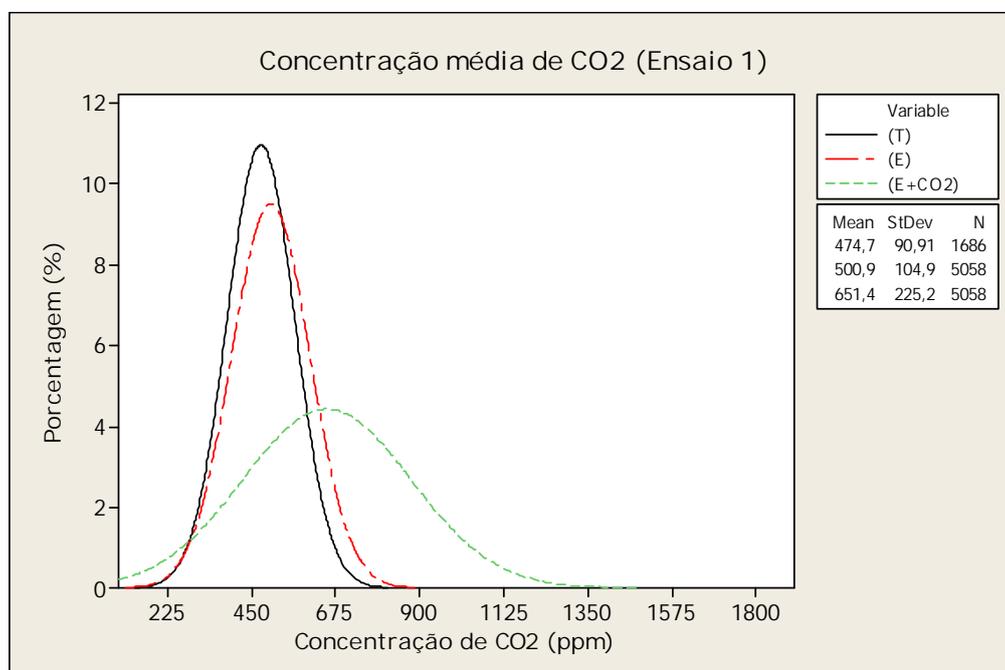


Figura 6: Concentração média de CO₂ atmosférico em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 1.

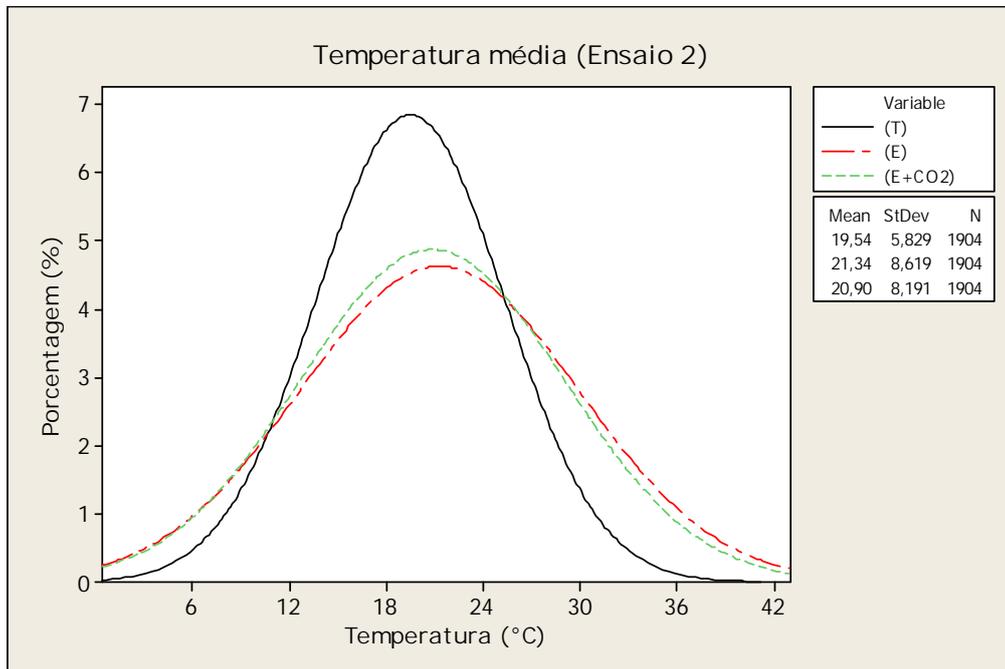


Figura 7: Temperatura média do ar em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.

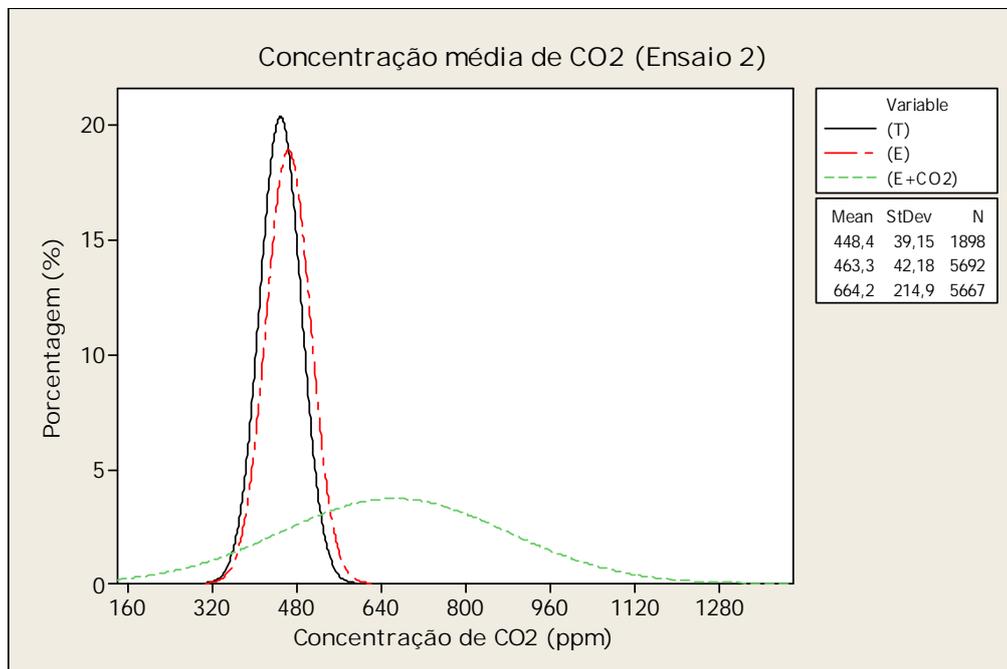


Figura 8: Concentração média de CO₂ atmosférico em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.

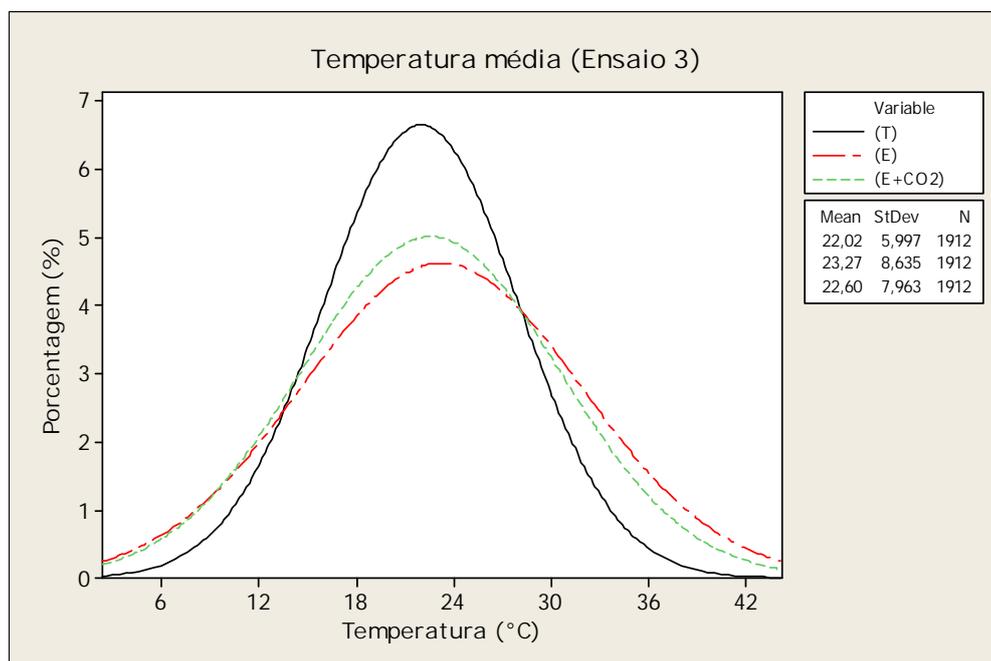


Figura 9: Temperatura média do ar em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.

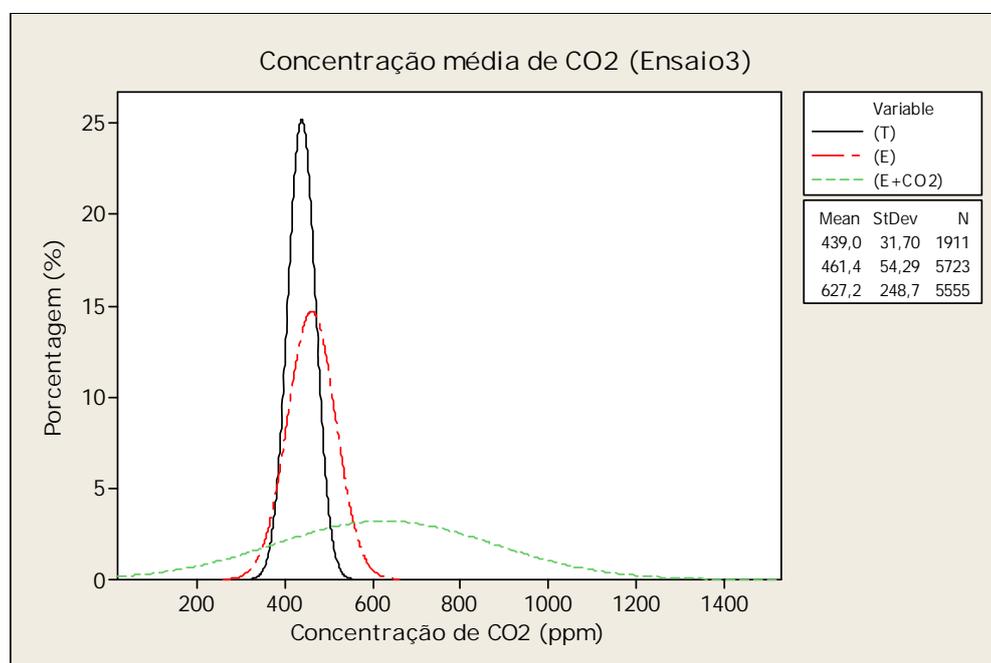


Figura 10: Concentração média de CO₂ atmosférico em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.

Os tratamentos com estufa apresentaram temperatura mais elevada que sem estufa, devido ao efeito de retenção de calor provocada pelo filme de PVC das estufas. Praticamente não houve diferença de temperatura entre as estufas com e sem injeção do gás. As temperaturas atingidas durante a realização do Ensaio 2 foram inferiores aos demais ensaios, pois esse teste foi conduzido durante o período de inverno.

A concentração média de CO₂ do tratamento sem estufa (T), nos três ensaios, atingiu valores superiores à média do planeta (379 ppm em 2005, segundo IPCC, 2007) devido à respiração das plantas, especialmente durante o período noturno. A maior variação da concentração no tratamento (E+CO₂) foi motivada pela troca de ar das OTCs devido a fortes ventos ou o aquecimento nas horas mais quentes do dia (Figura 3). Entretanto, apesar desses fatores, a concentração do gás se manteve acima dos demais tratamentos nos diferentes horários.

As OTCs têm sido utilizadas para a realização de estudos sobre os impactos do aumento da concentração de CO₂ atmosférico em diversos países (PRITCHARD & AMTHOR, 2005). No Brasil, Aidar *et al.* (2002) utilizaram OTCs para verificar o comportamento de plântulas de jatobá em atmosfera enriquecida com CO₂. Braga *et al.* (2006) estudaram a produção de fitoalexinas em soja em estruturas semelhantes, mas nesses trabalhos as OTCs foram mantidas dentro de casas-de-vegetação e as plantas foram cultivadas em vasos. O presente estudo utilizou OTCs instaladas no campo e a semeadura foi diretamente no solo (Figura 1 e 4). Dessa forma, evitou-se a restrição do desenvolvimento das raízes pelo vaso, o solo manteve a estrutura original e foram obtidas condições mais próximas às do agroecossistema.

6.2. Severidade do oídio da soja

As médias de temperatura dos tratamentos (T), (E) e (E+CO₂) no Ensaio 3 foram, respectivamente: 22,0°C; 23,3°C e 22,6°C. Os tratamentos com estufa apresentaram temperatura mais elevada que os tratamentos sem estufa, devido ao efeito de retenção de calor provocado pelo filme plástico. A temperatura favorável à infecção do oídio da soja está em torno de 20°C e a temperatura favorável ao desenvolvimento micelial se

encontra entre 18 e 24°C (BLUM *et al.*, 2001); portanto, as temperaturas correspondentes aos tratamentos foram favoráveis ao desenvolvimento da doença.

Em folhas unifoliadas, independentemente das cultivares, nos períodos 15 e 19 dias após a inoculação, foi verificado que a severidade do oídio aumentou significativamente no tratamento (E+CO₂) em relação aos tratamentos (E) e (T). A severidade do oídio também aumentou significativamente no tratamento (E) em relação ao tratamento (T) (Figura 11).

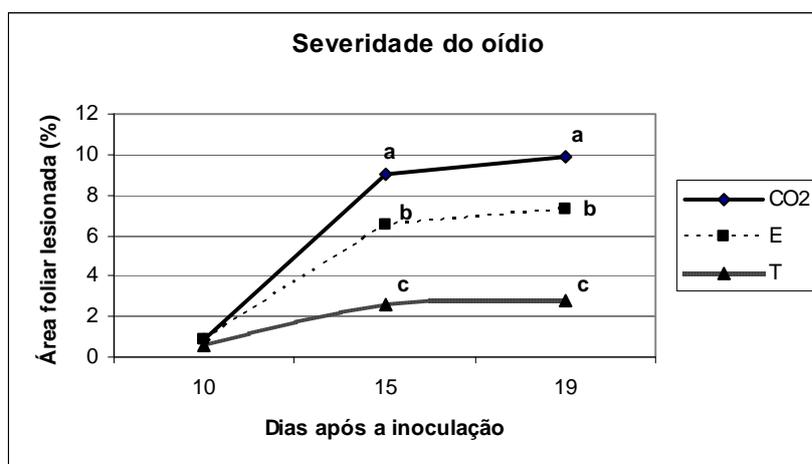


Figura 11: Severidade do oídio em folhas unifoliadas de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.

No comportamento das cultivares, independente dos tratamentos com ou sem injeção de CO₂, verificou-se que as cultivares FT-Estrela (AS) e Embrapa 48 (S) foram mais suscetíveis ao oídio, diferindo significativamente das cultivares FT-Cometa (MR) Formosa (R). A cultivar FT-Cometa (MR) também apresentou maior suscetibilidade ao oídio diferindo significativamente da cultivar Formosa (R) (Figura 22). No comportamento das cultivares em folhas unifoliadas, independente do aumento de CO₂, verificou-se a expressão de suas respectivas resistências ao oídio. Portanto a cultivar FT-Estrela (AS) e Embrapa 48 (S) apresentaram severidades semelhantes.

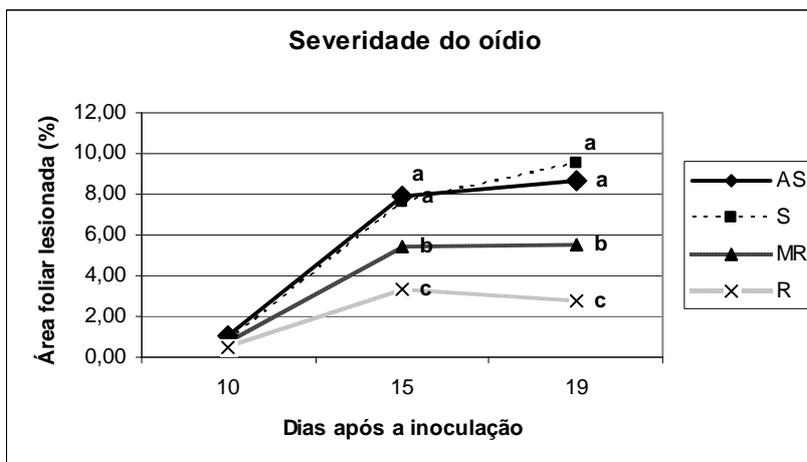


Figura 12: Severidade do oídio em folhas unifoliadas de soja de quatro cultivares com diferentes de níveis de resistência: altamente suscetível (AS), suscetível (S), moderadamente resistente (MR) e resistente (R), no Ensaio 3.

Avaliando a área abaixo da curva de progresso do oídio (AACPD), verificou-se que o CO₂ em alta concentração não alterou a resistência das cultivares, pois foi observado comportamento semelhante destas com ou sem a injeção do gás (Tabela 2). Nos tratamentos com estufa, com e sem injeção de CO₂, a cultivar Formosa (R) foi resistente à doença, concordando com Yorinori (1997). A cultivar FT-Cometa foi significativamente mais afetada no tratamento com injeção de CO₂ (E+CO₂) que nos tratamentos (E) e (T). As demais cultivares apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos com estufa e sem estufa. Dentro das OTCs foi observada maior quantidade de oídio que no tratamento (T).

Tabela 2: Área abaixo da curva de progresso da severidade (porcentagem de área foliar lesionada) do oídio (AACPD) em folhas primárias e na planta inteira de quatro cultivares de soja com diferentes níveis de resistência, cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.

Cultivares	Tratamentos			Média
	E+CO ₂	E	T	
AACPD folhas primárias				
FT-Estrela	87,35 a A	61,93 a A	17,32 a B	55,53 a
Embrapa 48	73,87 ab A	58,08 a AB	34,84 a B	55,59 a
FT-Cometa	57,24 bc A	39,95 ab A	14,14 a B	37,11 b
FT-5 (Formosa)	32,11 c A	25,18 b A	7,58 a A	21,62 c
Média	62,64 A	46,28 B	18,47 C	
AACPD planta inteira				
Embrapa 48	525,4 a A	489,4 a A	314,6 a B	443,1 a
FT-Estrela	469,0 a A	446,5 a A	198,7 b B	371,4 b
FT-Cometa	383,4 b A	302,1 b B	179,6 b C	288,3 c
FT-5 (Formosa)	229,3 c A	231,0 c A	106,5 c B	188,9 d
Média	401,8 A	367,2 B	199,8 C	

*Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O aumento da concentração de CO₂ resultou no aumento da severidade da doença das cultivares analisadas em conjunto, tanto nas folhas primárias quanto na planta inteira (Tabela 1). Esse efeito pode ter sido tanto direto, com a ação do CO₂ sobre o patógeno, como indireto, através da resposta da planta ao incremento de CO₂ e conseqüente efeito sobre a doença. Segundo Manning & Tiedmann (1995), de modo geral, os impactos sobre a planta são mais significativos, pois é necessário um aumento expressivo do gás para se verificar alguma alteração no comportamento de microrganismos. Os autores citam o caso de fungos habitantes de solo que toleram aumento de 10 a 20 vezes na concentração do CO₂. Apesar disso, Coakley & Scherm (1996) afirmam que a possibilidade de haver efeitos diretos do aumento da concentração do CO₂ sobre os patógenos não deve ser descartada.

A injeção de CO₂ atmosférico não teve efeito significativo sobre a esporulação do patógeno em nenhuma das cultivares (Tabela 3). A esporulação foi

significativamente mais baixa na cultivar FT-5 (Formosa), resistente ao oídio, em relação às demais cultivares. Além disso, houve maior esporulação dentro das estufas para a cultivar FT-Cometa do que fora das estufas.

Tabela 3: Esporulação do oídio pela área foliar aproximada (Log_{10}) em folíolos de quatro cultivares de soja com diferentes níveis de resistência cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.

Cultivares	Tratamentos		
	E+CO ₂	E	T
FT-Estrela	5,4 a A	5,6 a A*	5,3 a A
Embrapa 48	5,4 a AB	5,6 a A	5,5 a B
FT-Cometa	5,4 a A	5,5 a A	5,1 a B
FT-5 (Formosa)	5,1 b A	5,2 b A	4,9 b A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Centurion & Ghini (2008) alertam para a importância das interações dos diferentes fatores climáticos no estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre doenças da soja. O trabalho demonstra a importância do desenvolvimento de estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas globais sobre doenças de plantas, com a finalidade de elaborar estratégias de adaptação e reduzir os prejuízos nos sistemas agrícolas. Para o patossistema oídio-soja, o aumento da concentração de CO₂ levou ao aumento da doença. Entretanto, para uma análise completa, outros fatores devem ser considerados, como o incremento da produção resultante da fertilização com CO₂, a interação desses efeitos com a temperatura, precipitação e outros fatores climáticos.

6.3. Severidade da ferrugem asiática da soja

As médias de temperatura dos tratamentos (T), (E) e (E+CO₂) no Ensaio 2 foram, respectivamente: 19,54°C; 21,34°C; 20,90°C. A temperatura favorável à infecção da ferrugem asiática da soja está em torno de 20 a 25°C, portanto, as temperaturas correspondentes aos tratamentos foram favoráveis ao desenvolvimento da doença.

Em folhas unifoliadas e trifoliadas, os tratamentos diferiram significativamente ($P < 0,05$) quanto à severidade em todos os períodos de avaliação, ocorrendo maior severidade no tratamento (E) quando comparados aos tratamentos (E+CO₂) e (T) (Figuras 13, 14, 15, 16 e 17). Houve diferença significativa quanto à severidade entre os tratamentos (E+CO₂) e (T) no primeiro trifólio nos períodos 43 e 50 dias após o plantio (Figura 14), e no segundo trifólio aos 50 dias após o plantio (Figura 13).

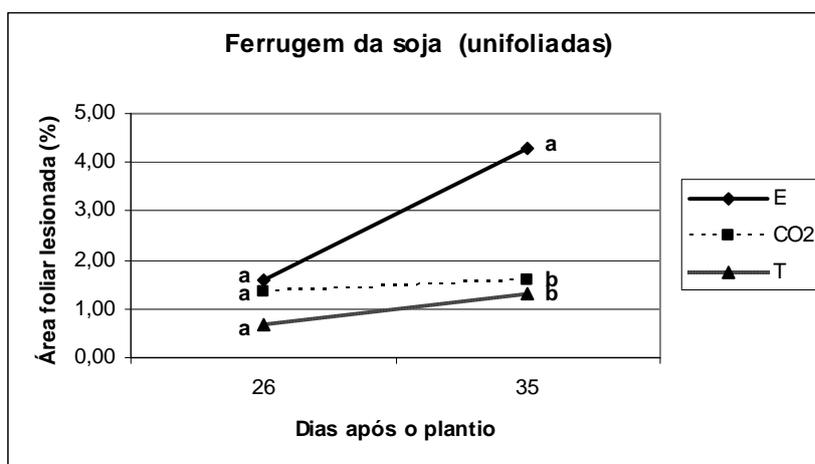


Figura 13: Severidade da ferrugem asiática em folhas unifoliadas de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.

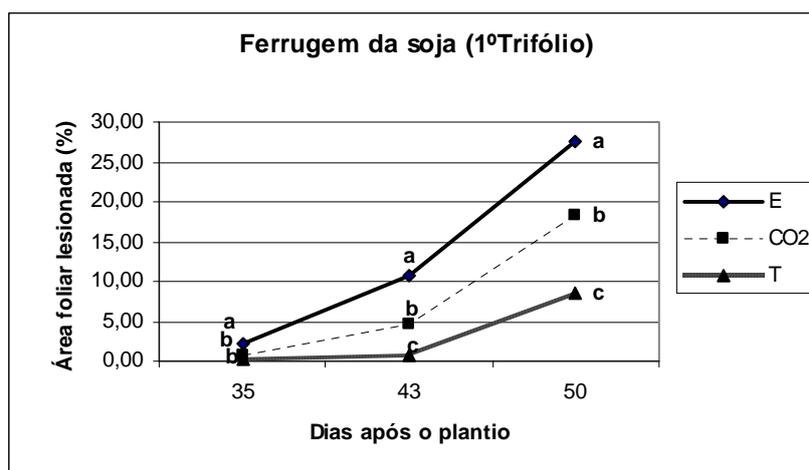


Figura 14: Severidade da ferrugem asiática no primeiro trifólio de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.

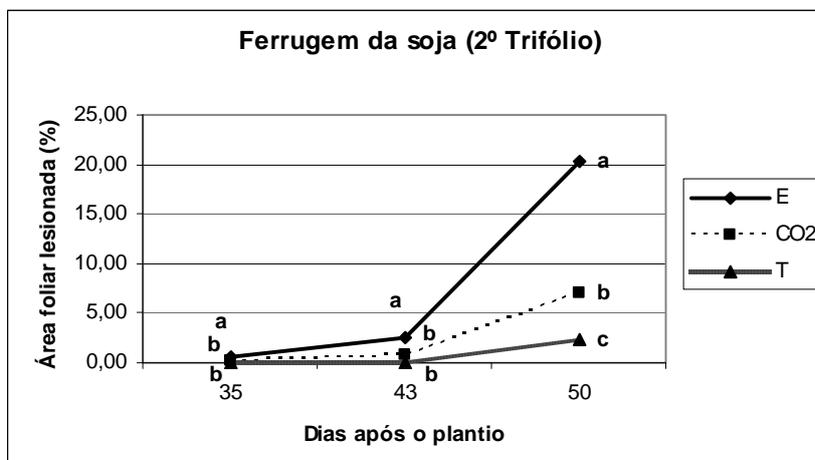


Figura 15: Severidade da ferrugem asiática no segundo trifólio de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.

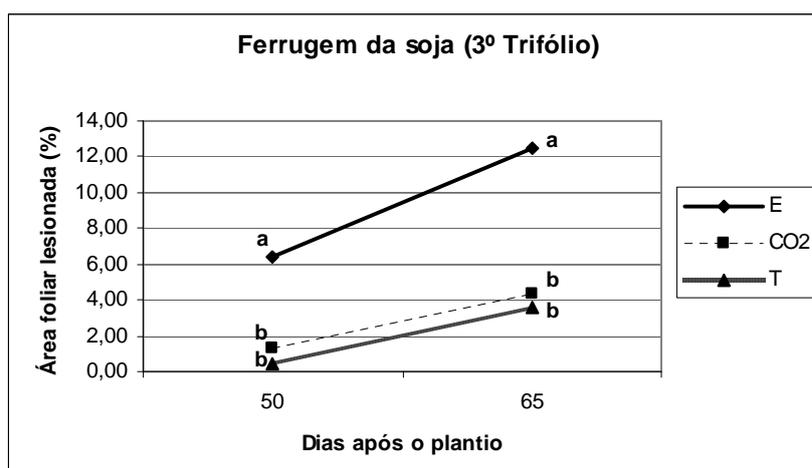


Figura 16: Severidade da ferrugem asiática no terceiro trifólio de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.

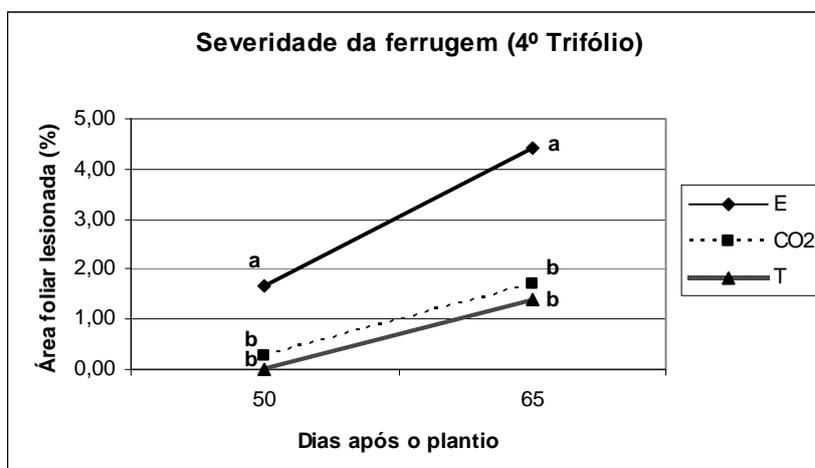


Figura 17: Severidade da ferrugem asiática no quarto trifólio de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 2.

Pelos resultados obtidos verificou-se que a alta concentração de CO₂ atmosférico reduziu a severidade da ferrugem asiática da soja dentro das estufas de topo aberto. As temperaturas médias dos tratamentos com estufa (E) e (E+CO₂) foram semelhantes, permanecendo entre 20 e 21°C, respectivamente, no Ensaio 2 (Figura 7), o que pouco provavelmente afetou a severidade da doença.

Avaliando a área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPD), calculada a partir da severidade média na planta inteira, verificou-se que o ambiente com alta concentração de CO₂ atmosférico reduziu a severidade da ferrugem asiática da soja (Tabela 4).

Tabela 4: Área abaixo da curva de progresso da severidade (porcentagem de área foliar lesionada) da ferrugem asiática da soja (AACPD) na planta inteira de soja em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T).

Tratamentos	AACPD planta inteira
E	303,7 a*
E+CO ₂	145,0 b
T	94,5 c

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os fatores envolvidos na baixa intensidade da severidade da ferrugem em altas concentrações de CO₂ atmosférico ainda são complexos de serem determinados. No entanto, o efeito que o CO₂ elevado exerceu sobre as plantas de soja pode ter conferido maior resistência à ferrugem. Braga et al. (2006), avaliando o efeito do CO₂ elevado na produção de fitoalexinas em cultivares de soja, observaram o aumento significativo na quantidade de fitoalexinas em CO₂ elevado quando comparado a CO₂ ambiente, supondo que altas concentrações de CO₂ atmosférico podem induzir a resposta de defesa das plantas de soja para alguns patógenos.

Ainda há poucos trabalhos disponíveis sobre o efeito do aumento CO₂ atmosférico em doenças de plantas e nenhum disponível sobre a ferrugem asiática da soja. É importante ressaltar também que outros fatores ambientais, além da concentração de CO₂ atmosférico, como a temperatura, umidade relativa do ar, tipo e fertilidade de solo, tratos culturas, entre outros, devem ser considerados nesse tipo de estudo, tendo em vista a influência que estes podem ter com o desenvolvimento da doença.

A esporulação da ferrugem asiática não diferiu significativamente entre os tratamentos (E+CO₂) e (E), no entanto, a esporulação do patógeno nesses tratamentos diferiram significativamente do tratamento (T) somente no primeiro trifólio (Tabela5).

Tabela 5: Esporulação da ferrugem asiática pela área foliar aproximada (Log₁₀) em folíolos do primeiro e segundo trifólio da soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T).

Tratamento	1º Trifólio	2º Trifólio
E+CO ₂	6,37 a*	6,30 a
E	6,26 a	6,04 ab
T	6,04 b	5,85 b

*Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Apesar da severidade da ferrugem asiática ter sido maior no tratamento (E), sem injeção de CO₂, a esporulação do patógeno foi mais elevada no tratamento (E+CO₂). O patógeno em condições não propícias de desenvolvimento pode

utilizar a reprodução como alternativa de sobrevivência, induzindo assim a maior produção de conídios.

6.4. Emergência de plântulas

Na avaliação de emergência das plântulas de soja, no Ensaio 3, não houve diferença significativa entre os tratamentos, no entanto a taxa de emergência da cultivar Embrapa 48 (S) foi significativamente maior, seguida das cultivares FT-Cometa (MR) e FT-Estrela (AS). A cultivar Formosa (R) apresentou taxa de emergência reduzida, diferindo significativamente das outras cultivares (Tabela 6).

Tabela 6: Emergência de quatro cultivares de soja com diferentes níveis de resistência ao oídio: altamente suscetível (AS), suscetível (S), moderadamente resistente (MR) e resistente (R), cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), 21 dias após o plantio, no Ensaio 3.

Cultivares	Emergência (%)		
	T	E+CO ₂	E
Embrapa 48	87 a A*	84 a A	88 a A
FT-Cometa	71 b A	65 b A	65 b A
FT-Estrela	62 c A	64 b A	63 b A
FT-5 (Formosa)	50 d A	53 c A	47 c A

* Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Braga et al. (2006), ao avaliar a taxa de germinação de duas cultivares de soja, uma resistente e outra suscetível ao cancro da haste, semeadas em vasos e submetidas a duas concentrações de CO₂ atmosférico, 360 ppm e 720 ppm, verificaram maior taxa de germinação das sementes da cultivar resistente quando comparada com a suscetível independente do tratamento com CO₂. Mas, para ambas as cultivares expostas ao CO₂ elevado houve aumento significativo da germinação. Os resultados não foram similares aos obtidos no presente trabalho, possivelmente, devido às condições diferenciadas entre os experimentos,

pois Braga et al. (2006) utilizaram plantas em vaso, ao passo que neste trabalho as plantas foram semeadas diretamente no solo, estando sujeitas a maiores variações do ambiente. Além disso, a concentração de CO₂ utilizada por Braga et al. (2006) foi superior às utilizadas no presente trabalho.

6.5. Altura de plantas de soja

No Ensaio 1, a altura das plantas de soja não sofreu aumento significativo em ambiente enriquecido com CO₂. No entanto, houve aumento significativo dessa variável nas estufas, com (E+CO₂) e sem (E) injeção de CO₂, quando comparadas com o tratamento sem estufa (T) (Tabela 7).

Tabela 7: Altura das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), Ensaio 1.

Tratamento	Dias após o plantio				
	32	39	46	51	58
E+CO₂	29,06 a*	34,00 a	39,93 a	48,53 a	59,93 a
E	29,00 a	33,67 a	38,73 a	44,66 a	56,13 a
T	22,13 b	27,60 b	32,67 b	39,8 b	50,93 a

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No Ensaio 2, a altura das plantas de soja em ambiente enriquecido com CO₂ foi significativamente maior aos 22 e 34 dias após o plantio quando comparada com a altura das plantas submetidas a atmosfera ambiente. Aos 34 dias após o plantio, a altura das plantas no tratamento (E) diferiu significativamente do tratamento (T). A partir dos 34 dias após o plantio, não houve diferença significativa entre os tratamentos com e sem injeção de CO₂ (Tabela 8).

Tabela 8: Altura das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), Ensaio 2.

Tratamentos	Dias após o plantio			
	22	34	42	50
E+CO ₂	29,47 a*	38,06 a	47,61 a	52,27 a
E	25,25 b	35,55 b	45,49 a	52,01 a
T	24,41 b	27,90 c	38,17 b	45,52 b

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No Ensaio 2, a altura da inserção de nós das plantas de soja foi avaliada 34 dias após o plantio. A altura do 1º ao 5º nó no tratamento (T) mostrou-se significativamente menor em relação aos tratamentos com estufa. De modo geral, a altura das plantas em parcelas com injeção de CO₂ foi maior que sem injeção, porém a diferença não foi estatisticamente significativa (Figura 18).

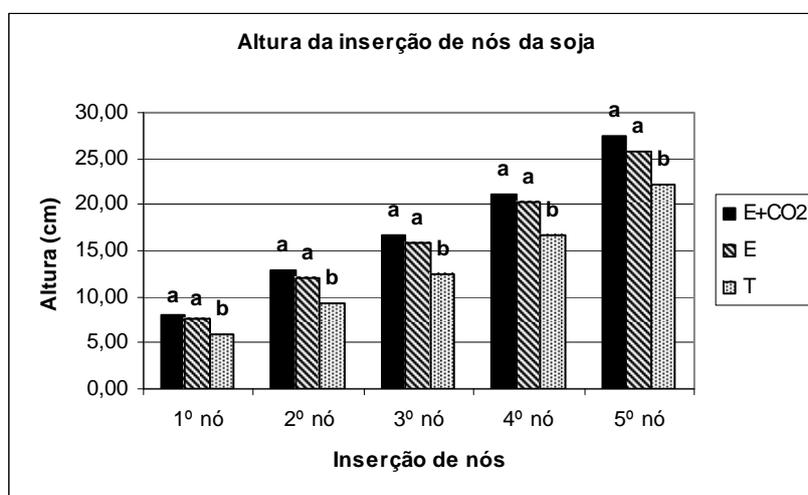


Figura 18: Altura da inserção de nós de soja cultivada em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), 34 dias após o plantio, no Ensaio 2.

No Ensaio 3, a injeção de CO₂ também estimulou o crescimento das plantas durante todo o período de avaliação, diferindo significativamente dos demais

tratamentos. O tratamento (E) também diferiu significativamente do tratamento (T) em todos os períodos (Tabela 9).

Tabela 9: Altura das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.

Tratamentos	Dias após o plantio								
	13	20	27	34	41	55	69	76	83
E+CO ₂	9,66 a*	14,16 a	19,05 a	25,59 a	32,79 a	39,87 a	47,64 a	62,03 a	68,20 a
E	9,12 b	13,16 b	17,90 b	23,98 b	31,07 b	37,77 b	44,98 b	58,72 b	64,62 b
T	8,02 c	10,74 c	14,02 c	17,31 c	20,85 c	24,40 c	28,2 c	37,63 c	43,90 c

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O aumento da concentração de CO₂ resultou no aumento da altura das cultivares FT-Estrela, Embrapa 48 e FT-Cometa. O crescimento das plantas na testemunha foi significativamente menor do que nas OTCs,. A cultivar FT-5 (Formosa) não apresentou aumento significativo no tratamento com aplicação de CO₂ (Tabela 10).

Tabela 10: Altura final das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.

Cultivares	Tratamentos		
	E+CO ₂	E	T
	Altura (cm)		
FT-Estrela	81,1 a A	71,4 a B	51,4 a C
Embrapa 48	73,5 b A	62,9 b B	49,5 a C
FT-Cometa	58,5 c A	54,6 c B	36,3 c C
FT-5 (Formosa)	57,9 c A	55,6 c A	39,0 b B

*Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos no Ensaio 1, 2 e 3 mostraram a influência significativa que alta concentração de CO₂ atmosférico exerce sobre o crescimento das plantas de soja. Deepak & Agrawal (2001), ao estudar o efeito da alta concentração de CO₂ (600 ppm) no crescimento da soja, verificaram aumento significativo da altura das plantas submetidas ao

CO₂ elevado quando comparada com CO₂ ambiente. Ainsworth et al. (2002) também verificaram aumento significativo na taxa de crescimento relativo e da altura da haste da soja em ambiente enriquecido com CO₂ (>600 ppm).

6.6. Massa das plantas secas e nodulação

No Ensaio 1, o peso da parte aérea e o peso das raízes das plantas de soja não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. O número de nódulos nos tratamentos (E) e (E+CO₂) diferiu significativamente do tratamento (T) aos 39 dias após o plantio. O peso de nódulos frescos no tratamento (E+CO₂) diferiu significativamente do tratamento (T) aos 39 dias após o plantio (Tabela 11).

No Ensaio 2, não houve diferença significativa entre os tratamentos (E) e (E+CO₂) no peso da parte aérea, peso de raiz, peso de nódulos frescos e peso de nódulos secos; no entanto, o número de nódulos em ambiente com injeção de CO₂ aos 34 dias após o plantio foi maior que os demais tratamentos (Tabela 11 e Figura 19).

No Ensaio 3, o peso da parte aérea das plantas nos tratamentos (E) e (E+CO₂) diferiu significativamente do tratamento (T) nos três períodos de avaliação. O peso das raízes no tratamento (E+CO₂) diferiu significativamente dos tratamentos (E) e (T) aos 69 e 83 dias após o plantio. Aos 55 dias após o plantio, houve diferença significativa somente dos tratamentos com estufa (E+CO₂) e (E) em relação ao tratamento (T). O número de nódulos do tratamento (E+CO₂) diferiu significativamente dos tratamentos (E) e (T) aos 55 e 69 dias após o plantio, no entanto, aos 69 dias após o plantio o tratamento (E+CO₂) não diferiu significativamente do tratamento (E). No peso de nódulos frescos e secos houve diferença significativa entre os três tratamentos (Tabela 11).

Tabela 11: Massa da parte aérea, massa de raiz, número de nódulos, massa de nódulos frescos e massa de nódulos secos de plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), nos Ensaio 1, 2 e 3.

Tratamentos	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		
	Dias após o plantio		Dias após o plantio		Dias após o plantio		
	39	58	22	34	55	69	83
Massa da parte aérea (g)							
E+CO ₂	3,21 a	13,33 a	6,43 a	45,88 a	32,86 a	56,13 a	69,33 a
E	2,91 a	12,95 a	4,05 ab	34,27 ab	31,33 a	54,38 a	63,69 a
T	2,76 a	8,99 a	2,62 b	23,43 b	23,41 b	32,15 b	45,63 b
Massa de raiz (g)							
E+CO ₂	1,80 a	2,87 a	2,16 a	10,06 a	4,32 a	7,12 a	11,14 a
E	1,72 a	4,84 a	1,00 ab	7,20 ab	3,37 ab	4,91 b	8,35 b
T	1,45 a	2,60 a	0,96 b	5,24 b	2,62 b	4,05 b	7,08 b
Nº de nódulos							
E+CO ₂	43 a	151 a	36 a	248 a	427 a	547 a	633 a
E	30 a	118 a	23 ab	134 b	348 b	472 a	524 b
T	14 b	89 a	13 b	115 b	227 c	312 b	286 c
Massa de nódulos frescos (g)							
E+CO ₂	2,40 a	3,07 a	2,46 a	6,79 a	11,41a	17,44 a	22,13 a
E	1,72 ab	3,71 a	1,15 ab	6,11 ab	8,94 b	14,85 b	19,17 b
T	0,43 b	1,91 a	0,55 b	4,19 b	5,73 c	9,83 c	9,88 c
Massa de nódulos secos (g)							
E+CO ₂	0,33 a	1,56 a	0,53 a	2,86 a	4,21 a	7,32 a	7,42 a
E	0,32 a	1,44 a	0,30 a	2,72 a	3,24 b	5,37 b	5,85 b
T	0,13 a	0,89 a	0,25 a	2,22 a	2,01 c	3,32 c	3,32 c

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Durante o Ensaio 3, o aumento da concentração de CO₂ resultou no aumento da massa seca das raízes, número e massa de nódulos das cultivares FT-Estrela, Embrapa 48 e FT-Cometa. De modo geral, o desenvolvimento das plantas na testemunha foi significativamente menor do que nas OTCs, com exceção da massa seca da parte aérea. A cultivar FT-5 (Formosa) não apresentou aumento significativo para essas variáveis no tratamento com aplicação de CO₂ (Tabela 12).

Tabela 12: Massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, número de nódulos, peso de nódulos frescos e peso de nódulos secos de quatro de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), no Ensaio 3.

Cultivares	Tratamentos		
	E+CO ₂	E	T
Massa seca da parte aérea (g)			
Embrapa 48	97,2 a A	82,6 a A	53,3 a A
FT-Estrela	81,9 a A	70,4 a A	49,7 a A
FT-Cometa	47,8 b A	51,2 a A	40,1 a A
FT-5 (Formosa)	50,3 b A	50,4 a A	38,9 a A
Massa seca da raiz (g)			
FT-Estrela	13,2 a A	9,9 a B	7,1 a C
Embrapa 48	15,9 a A	9,5 a B	7,8 a C
FT-Cometa	9,9 b A	8,3 b B	7,5 a B
FT-5 (Formosa)	5,5 c A	5,7 c A	5,6 c A
Número de nódulos			
FT-Estrela	735 a A	588 a B	312 a C
Embrapa 48	757 a A	545 a B	271 ab C
FT-Cometa	610 b A	517 ab B	342 a C
FT-5 (Formosa)	429 c A	447 b A	218 b B
Massa fresca de nódulos (g)			
FT-Estrela	25,5 a A	21,6 a B	10,9 a C
Embrapa 48	27,0 a A	19,6 a B	9,0 b C
FT-Cometa	21,2 b A	17,1 ab B	11,5 a C
FT-5 (Formosa)	14,6 c A	16,1 b A	7,6 b B
Massa seca de nódulos (g)			
FT-Estrela	9,1 a A	6,5 a B	3,4 ab C
Embrapa 48	9,1 a A	5,9 a B	3,1 b C
FT-Cometa	6,3 b A	4,6 bc B	4,3 a C
FT-5 (Formosa)	4,8 c A	4,1 c A	2,2 c B

* Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

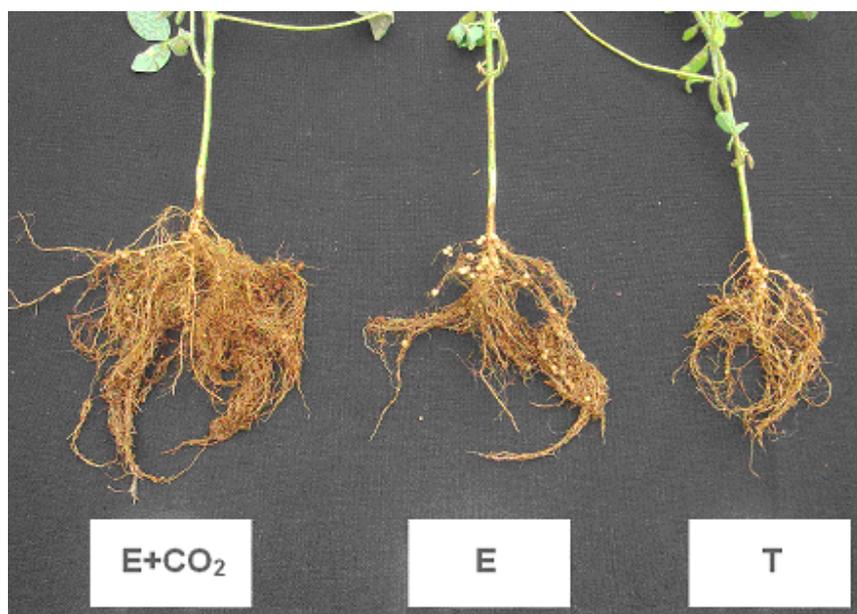


Figura 19: Raízes das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T).

O efeito conjunto do CO₂ com outras variáveis ambientais, como os níveis de nutrientes disponíveis no solo e temperatura média podem interferir na resposta da soja ao aumento da concentração de CO₂. Sa & Israel (1998), em experimento realizado com o enriquecimento de CO₂ (800 ppm) e sem (400 ppm) em soja, com e sem adubação suplementar de fósforo, verificaram aumento de 83% no peso da matéria seca das plantas suplementadas com P em 800 ppm de CO₂; por outro lado, o peso da matéria seca das plantas não suplementadas com P em 800 ppm de CO₂ não aumentou significativamente. Heinemann *et al.* (2006), estudando o efeito de diferentes níveis de CO₂ (400 e 700 ppm) associados a três regimes de temperatura, 20/15, 25/20 e 30/25 (dia/noite) (°C) sobre a biomassa total da parte aérea da soja, verificaram que alta concentração de CO₂ associada aos regimes de temperatura 20/15°C e 30/25°C aumenta significativamente a biomassa das plantas. No entanto, o CO₂ elevado associado ao regime de temperatura 25/20°C não aumentou a biomassa das plantas.

O aumento na produção de nódulos se deve, possivelmente, à resposta semelhante à observada no peso das raízes. Norby *et al.* (1987), estudando os efeitos do enriquecimento de CO₂ atmosférico (700 ppm) em espécies arbóreas, verificaram aumento significativo no peso da matéria seca de plantas de *Robinia pseudoacacia* (32%), *Alnus*

glutinosa (49%) e *Eleagnus angustifolia* (61%), acompanhado de aumento da atividade total de nódulos. O maior desenvolvimento do sistema radicular permitiu o estabelecimento de um maior número de nódulos. Sa & Israel (1998) também observaram aumento na massa de nódulos da soja (67%) com aumento da concentração de CO₂.

O efeito do CO₂ atmosférico elevado no peso da matéria seca da parte aérea da soja, apesar de não apresentar diferença estatística, mostrou tendência no incremento dessa variável (Tabela 7 e 8). Kim et al. (2005) verificaram aumento do peso total da matéria seca de soja em ambiente enriquecido com 650 ppm de CO₂. O efeito conjunto do CO₂ atmosférico elevado com a variação de temperatura pode interferir na resposta da soja a essa variável. Heinemann et al. (2006), estudando o efeito de diferentes níveis de CO₂ (400 e 700 ppm) associados a três regimes de temperatura, 20/15, 25/20 e 30/25 (dia/noite) (°C) sobre a biomassa total da parte aérea da soja, verificaram que alta concentração de CO₂ associada aos regimes de temperatura 20/15°C e 30/25°C eleva significativamente a biomassa das plantas. No entanto, o CO₂ elevado associado ao regime de temperatura 25/20°C não elevou a biomassa das plantas. Portanto, as temperaturas médias de 25,86°C; 20,90°C; 22,60°C, observadas no tratamento (E+CO₂) durante os Ensaios 1, 2 e 3, respectivamente (Figuras 5, 7 e 9), podem ter sido os fatores responsáveis pela baixa resposta das plantas ao incremento de biomassa no tratamento com injeção de CO₂. No Ensaio 2, foi registrada temperatura média de 20,90 °C, valor próximo ao regime 20/15°C, que conferiu resposta ao incremento de biomassa das plantas de soja à alta concentração de CO₂ no estudo de Heinemann et al. (2006). Apesar de não ser estatisticamente significativo, no Ensaio 2, o peso da matéria da parte aérea das plantas do tratamento (E+CO₂) foi superior às do tratamento (E). Nos Ensaios 1 e 3, o peso da matéria seca das plantas não aumentou consideravelmente em parcelas com injeção de CO₂, provavelmente devido às temperaturas médias mais altas (Tabela 7).

Braga et al. (2006), estudando o efeito do CO₂ no peso total da matéria seca da soja, verificaram que não houve diferença significativa no peso da matéria seca total entre concentrações de 360 e 720 ppm de CO₂; no entanto, neste trabalho não são apresentados dados referentes à temperatura e seu possível efeito sobre os resultados.

O peso das raízes nos Ensaios 2 e 3 apresentou respostas mais significativas em alta concentração de CO₂ em relação ao peso da parte aérea (Tabela 7).

Ainsworth et al. (2002) verificaram aumento significativo do peso da parte aérea, peso da raiz e da biomassa de plantas de soja a alta concentração de CO₂ (>600 ppm).

A resposta da produção de nódulos ao CO₂ atmosférico elevado também foi significativo nos Ensaio 2 e 3 (Tabela 7). Isso se deve, possivelmente, à resposta semelhante à observada no peso das raízes. Norby et al. (1987), estudando os efeitos do enriquecimento de CO₂ atmosférico (700 ppm) em espécies arbóreas, verificou aumento significativo no peso da matéria seca de plantas de *Robinia pseudoacacia* (32%), *Alnus glutinosa* (49%) e *Eleagnus angustifolia* (61%), acompanhado de aumento da atividade total de nódulos. O maior desenvolvimento do sistema radicular permitiu o estabelecimento de um maior número de nódulos. Sa & Israel (1998), avaliando os efeitos da do enriquecimento de CO₂ atmosférico (400 e 800 ppm) em soja, observaram aumento na massa da matéria seca das plantas (83%) e massa de nódulos (67%).

6.7. Comunidade microbiana do filoplano da soja

Nesse estudo estudou-se a comunidade microbiana do filoplano somente na cultivar FT-Estrela (AS). Nos resultados obtidos no Ensaio 1, a contagem de *Bacillus* spp. foi maior para o tratamento (T), diferindo significativamente somente do tratamento (E+CO₂). No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos (E) e (E+CO₂), sendo assim o aumento de CO₂ atmosférico não teve efeito significativo. A ausência da estrutura da estufa no tratamento (T) pode ter exercido alguma influencia ao deixar as plantas mais expostas ao ambiente externo, favorecendo de alguma forma a bactéria do gênero *Bacillus* spp. Por outro lado, a presença da estrutura da estufa nos tratamentos (E) e (E+CO₂) pode ter desfavorecido a comunidade desse microrganismo no filoplano (Tabela 13).

Nos resultados obtidos no Ensaio 1, a contagem da comunidade bacteriana também foi maior para o tratamento (T), diferindo significativamente somente do tratamento (E+CO₂). Por outro lado, houve diferença significativa entre os tratamentos (E) e (E+CO₂), mostrando que o aumento de CO₂ atmosférico pode ter inibido a comunidade bacteriana na filosfera.

No Ensaio 3, a contagem de *Bacillus* spp. foi maior no tratamento (E+CO₂), diferindo significativamente dos tratamentos (T) e (E), portanto houve efeito

significativo do aumento de CO₂ atmosférico no número de ufc/cm² desse microrganismo na filosfera. Neste mesmo ensaio, a contagem da comunidade bacteriana também foi maior no tratamento (E+CO₂), no entanto só houve diferença significativa em relação ao tratamento (E).

Ambos os ensaios foram realizados com metodologias idênticas, portanto, em épocas diferentes, sendo o Ensaio 1 realizado em época de chuvas mais freqüentes e de temperaturas médias mais elevadas, e o Ensaio 3 em época mais seca e de temperaturas médias mais amenas. Essas diferenças climáticas, associado aos diferentes tratamentos, podem ter gerados resultados contraditórios entre os dois ensaios.

Nos resultados obtidos para *Trichoderma* spp. , a contagem foi maior no tratamento (T) somente para o Ensaio 1, diferindo significativamente dos tratamentos (E) e (E+CO₂), sendo assim não houve efeito do aumento de CO₂ atmosférico. A estrutura da estufa, ao envolver as plantas, pode ter inibido o desenvolvimento desse microrganismo no filoplano da soja dentro das estufas. No Ensaio 3, não houve diferença significativa na contagem de *Trichoderma* spp. Na contagem de leveduras, não houve diferença significativa em nenhum dos dois ensaios experimentais assim como em nenhum dos tratamentos.

Tabela 13: Comunidade microbiana do filoplano das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E+CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T), nos Ensaios 1 e 3.

Trat.	Microrganismos (ufc/cm ²)							
	<i>Bacillus</i> spp.		Comunidade bacteriana		<i>Trichoderma</i> spp.		Leveduras	
	Ensaio 1	Ensaio 3	Ensaio 1	Ensaio 3	Ensaio 1	Ensaio 3	Ensaio 1	Ensaio 3
T	136,0 a	111,6 b	27640,5 a	317,7 ab	908,2 a	283,1 a	5503,1 a	27,6 a
E	75,7 ab	85,9 b	16782,9 a	208,6 b	547,1 b	244,0 a	2508,1 a	14,9 a
E+CO₂	48,3 b	315,2 a	4098,0 b	739,8 a	467,5 b	76,7 a	2508,1 a	13,9 a

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

7. CONCLUSÕES

- O aumento da concentração de CO₂ atmosférico aumenta a severidade do oídio da soja, porém esse efeito pode variar entre as diferentes;
- O aumento da concentração de CO₂ atmosférico reduz a severidade da ferrugem asiática da soja;
- A esporulação de *Microsphaera diffusa* e *Phakopsora pachyrhizi* em plantas de soja não foi alterada no ambiente enriquecido com CO₂;
- O crescimento e a nodulação de plantas de soja são maiores em ambiente enriquecido com CO₂, mas não há efeito sobre a massa seca da parte aérea das plantas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AINSWORTH, E. A.; E. A.; DAVEY, P. A.; BERNACCHI, C. J.; DERMODY, O. C.; HEATON, E. A.; MOORE, D.J.; MORGAN, P. B.; NAIDU, S. L.; YOORA, H.; ZHU, X.; CURTIS, P. S.; LONG, S. P. A meta-analysis od elevated [CO₂] effects on soybean (*Glycine max*) physiology, growth and yeld. **Global Change Biology**, v. 8, p. 695-709, 2002.

ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; FERREIRA, J. B.; ARAÚJO, D. V.; COSTA, J. C. B.; DEUNER, C. C.; MUNIZ, M. F. S.; ZAMBENEDETTI, E. B.; MACHADO, J. C. Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, Savana e Suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 3, p. 239-244, 2007.

AZEVEDO, L. A. S. de; JULIATTI, F. C.; BARRETO, M. Resistência de genótipos de soja à *Phakospora Pachyrhizi*. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 3, p. 252-257, 2007.

BALARDIN, R. S.; DALLAGNOL, L. J.; DITONÉ, H. T.; NAVARINI, L. Influência do fósforo e do potássio na severidade da ferrugem da soja *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 5, 2006.

BLUM, L. E. B.; REIS, E. F.; PRADE, A. G.; TAVELA, V.J. Fungicidas e mistura de fungicidas no controle do oídio da soja **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 2, 2002.

FINN, G. A.; BRUN, W. A. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on growth, nonstructural carbohydrate content, and root nodule activity in soybean. **Plant. Physiol.** v. 69, p. 327-331, 1982.

BRAGA, M., R.; AIDAR, M., P., M. ; MARABESI, M., A.; GODOY, J., R., L., de. Effects of elevated CO₂ on the phytoalexin production of two soybean cultivars differing in the resistance to stem canker disease. **Environmental and Experimental Botany**, v. 58, p. 85-92, 2006.

BRIESEMEISTER, R. **Modelagem matemática para o estudo do oídio em uma plantação de soja sob os efeitos do CO₂**. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Campinas, 2007.

CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: Editora Publique, 1998. 293p.

CASTILHOS, W. **Resposta ao tempo**. São Paulo: Fundação de amparo à pesquisa do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php>. Acesso em: 28 ago. 2006.

CASTIGLIONI, V. B. R. *et. al.* **Tecnologias de produção de soja na região central do Brasil-2006**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 220p.

COAKLEY, S. M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate Change and Plant Disease Management. **Annu. Rev. Phytopathol.**, v. 37, p. 399-426, 1999.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G.; WHITE, N. Impact of climate change on importante plant diseases in Australia. **Rural Industries Research and Development Corporation**, W02/010, 2002.

CHAKRABORTY, S.; TIEDMANN, A. V.; TENG, P. S. Climate change: potential impact on plant diseases. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 317-326, 2000a.

CHAKRABORTY, S.; PANGGA, I. B.; LUPTON, J.; HART, L.; ROOM, P. M.; YATES, D. Production and dispersal of *Colletotrichum gloeosporioides* spores on *Stylosanthes scabra* under elevated CO₂. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 381-387, 2000b.

CHAKRABORTY, S., MURRAY, G. M., MAGAREY, P. A., YONOW, T., O'BRIEN, R. G., CROFT, B. J., BARBETTI, M. J., SIVASITHAMPARAM, K., OLD, K. M., DUDZINSKI, M. J., SUTHERST, R. W., PENROSE, L. J., ARCHER, C. & EMMETT, R. W. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australasian Plant Pathology**, v. 27, p. 15-35, 1998.

CUNHA, G. R. Um planeta em aquecimento. In: **Meteorologia: fatos e mitos-2**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p.123-125.

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

GHINI, R.; VITTI, A. J. Controle integrado de *Botrytis cinerea* na cultura do morango. **Summa Phytopathologica**, v.19, n. 1, p. 10-13, 1993.

GODOY, C. V. & CANTERI, M. G. Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 97-101, 2004.

HEINEMANN, A., B.; MAIA, A. de, H., N.; NETO, D., D.; INGRAM, K., T.; HOOGENBOOM, G. Soybean (*Glycine Max* (L.) Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. **Europ. J. Agronomy**, v. 24, p. 52-61, 2006.

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**, v. 48, p37-53, 1996.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis** IPCC WGI, TAR,18p., 2007.

JORGE, J. A.; LOURENÇÃO, A. L.; ARANHA, C.(ed.) Soja. **Boletim do Instituto Agrônômico**. Campinas. N 200, p 189, 1990.

LOULERGUE, L., SCHILT, A., SPAHNI, R., MASSON-DELMOTTE, V., BLUNIER, T., LEMIEUX, B., BARNOLA, J.-M., RAYNAUD, D., STOCKER, T. F. & CHAPPELLAZ, J. Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH₄ over the past 800,000 years. **Nature**, v. 453, p. 383-386, 2008.

LÜTHI, D.; FLOCH, M. L.; BEREITER, B.; BLUNIER, T.; BARNOLA, J.-M.; SIEGENTHALER, U.; RAYNAUD, D.; JOUZEL, J.; FISCHER, H.; KAWAMURA, K.; STOCKER, T. F. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. **Nature**, v. 453, p. 379-382, 2008.

LEHNINGER, A. L. Bioquímica: biossíntese e a utilização da energia das ligações de fosfato. Ed. Edgard Blücher Ltda., v. 3., p. 439-596, 1976.

KIM, S-H.; JUNG, W-S.; AHN, J-K.; KIM, J-A; CHUNG, III-M. Quantitative analysis of the isoflavone content and biological growth of soybean (*Glycine max* L.) at elevated temperature, CO₂ level and N application. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 2557-2566, 2005.

LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2001. 397p.

MAGNANI, E. B. Z; ARAUJO, D. V. Eventos de pré-penetração, penetração e colonização de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 2, p.156-160, 2007.

MALTY, J. S, SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbiotróficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 285-291, 2006

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**, v. 88, p.219-245, 1995.

MARCHIORI, L. F.; CÂMARA, G. M.; PEIXOTO C. P.; MARTINS, M. C. Desempenho vegetativo de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) merrill] em épocas normal e safrinha. **Scientia. Agricola**. Piracicaba, v. 56, n. 2

MATTIAZZI, P. **Efeito do oídio (*Microsphaera diffusa* Cook & Peck) na produção e duração da área foliar sadia da soja**. 2003. 49p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MELO, I. S.; SANHUEZA, R. M. **Métodos de seleção de microrganismos antagônicos a fitopatógenos: manual técnico**. Jaguariúna: Embrapa/CNPMA, 72p, 1995.

MÜLLER, L. Fisiologia. In: MYIASAKA, S. & MEDINA, J. L. **A Soja no Brasil**. Campinas, p.109 - 29. 1981.

NAVARINI, L.; DALLAGNOL, L. J.; BALARDIN, R. S.; MOREIRA, M. T.; MENEGHETTI, R. C.; MADALOSSO, M. G. Controle químico da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow). *Summa Phytopathologica*, v. 33, n. 2, p. 182-186, 2007.

NORBY, R. J.; O'NEILL, E. G.; HOOD, W. G.; LUXMOORE, R. J. Carbon allocation, root exudation and mycorrhizal of *pinus echinata* seedlings grown under CO₂ enrichment. *Tree Physiology*, v. 3, p. 203-210, 1987.

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

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Soja. **Boletim Técnico 100**. Campinas. N100, p. 202-203, 1997.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL. Normas para avaliação e recomendação de fungicidas para a cultura da soja. Ata. **XXV Reunião de pesquisa de soja da região central do Brasil**, Uberaba, MG. 2003. pp.138-146.

SA, T. N.; ISRAEL, D.W. Phosphorus-deficiency effects on response of symbiotic N-2 fixation and carbohydrate status in soybean to atmospheric CO₂ enrichment. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, n. 10, p. 2207-2218, 1998.

SARTORATO, A.; YORINORI, J. T. Oídio de leguminosas: feijoeiro e soja. In: STADINIK, M. J.; RIVERA, M. C. **Oídios**. Jaguariúna: Embrapa do Meio Ambiente, 2001. p. 262-284.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da Soja**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 96 p. 1985.

SIQUEIRA, O. J. W.; STEINMETZ, S.; SALLES, L. A. B. FERNANDES, J. M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças**

climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2001. p.33-63.

SHIBLES; R. M.; SECOR, J.; FORD, D. M. Carbon assimilation and metabolism. In: WILCOX, J. R. (2 ed.) **Soybeans: Improvement, Production and Uses.** Madison, Wisconsin, p. 535-588, 1987.

SOJA. **Agrianual 2006:** Anuário da Agricultura Brasileira, São Paulo, p.433-466.

TANAKA, M. A. S.; ITO, M. D.; DUDIENAS, C.; MIRANDA, M. A. C. Desenvolvimento do Oídio da soja em casa de vegetação. *Summa Phytopathologica*, v. 19, n. 2, p. 125-126, 1993.

THOMPSON, G. B.; BROWN, J. K. M.; WOODWARD, F. I. The effects of host carbon dioxide, nitrogen and water supply on the infection of wheat by powdery mildew and aphids. **Plant, Cell and Environment**, v. 17, p. 1161-1167, 1994.

YORINORI, J. T. Cultivares de soja resistentes à *Microsphaera diffusa*. **Fitopatologia Brasileira**, v.22, (suplemento), p. 320, 1997.