

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**IMPACTO DO AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub> DO AR  
SOBRE A BRUSONE DO ARROZ**

**MARINA MELONI GÓRIA**

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

BOTUCATU-SP  
Novembro – 2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**IMPACTO DO AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub> DO AR  
SOBRE A BRUSONE DO ARROZ**

**MARINA MELONI GÓRIA**

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Raquel Ghini

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

BOTUCATU-SP  
Novembro – 2009

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

G669i Gória, Marina Meloni, 1984-  
Impacto do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> do ar sobre a brusone do arroz / Marina Meloni Gória. - Botucatu : [s.n.], 2009.  
x, 59 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2009  
Orientador: Raquel Ghini  
Inclui bibliografia.

1. Brusone. 2. Arroz. 3. Dióxido de carbono. 4. Mudança climática. I. Ghini, Raquel. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “IMPACTO DO AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub> DO AR SOBRE A  
BRUSONE DO ARROZ”

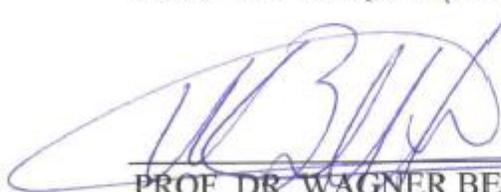
ALUNA: MARINA MELONI GORIA

ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup> DR<sup>a</sup> RAQUEL GHINI

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF<sup>a</sup> DR<sup>a</sup> RAQUEL GHINI



PROF. DR. WAGNER BETTIOL



PROF. DR. ALFREDO SEIITI URASHIMA

Data da Realização: 10 de novembro de 2009.

## DEDICATÓRIA

À minha mãe, Maria de Fátima Meloni, por todos os ensinamentos, educação, carinho, amizade, dedicação e principalmente o grande incentivo aos estudos.

À minha avó, Ivone Françoso Meloni (Ni), pela força e amor a mim dedicado.

Ao meu irmão, Victor Gória, pelos momentos agradáveis que passamos juntos durante toda infância e adolescência.

Ao Hélio Oliveira Aguiar Júnior, pelo companheirismo e apoio para que superasse todas as dificuldades encontradas neste caminho.

Aos meus tios Jorge Meloni Filho, Maria Carlota Meloni Vicente, José Roberto Vicente e José Nino Meloni, pelo incentivo constante nos momentos de graduação e pós-graduação.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida por que, com certeza, há alguém superior que nos dá forças quando precisamos;

À minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Raquel Ghini, pelos ensinamentos e por ter aberto as portas para que pudesse ingressar no mestrado, pela confiança e pelos valiosos conselhos;

Ao Dr. Wagner Bettiol, pelo auxílio na realização deste trabalho, pela atenção e amizade;

À Dra. Martha Mischan, pelos conselhos, atenção e orientação nas análises estatísticas;

Ao engenheiro agrônomo José Abrahão H. Galvão e ao Waldemore Moricone, que tanto me auxiliaram nas experimentações realizadas;

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Proteção de Plantas), pela ajuda e incentivo durante o curso;

Aos funcionários e técnicos de laboratório da Embrapa Meio Ambiente, pelo auxílio durante a condução do experimento.

Aos colegas de laboratório da Embrapa Meio Ambiente, pela amizade, incentivo e apoio em dar prosseguimento aos estudos.

Aos docentes e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Proteção de Plantas) da UNESP-FCA/Botucatu, pela colaboração;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de estudos concedida durante a realização do curso;

A todos os meus familiares, pelo apoio e dedicação;

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

Una leggenda tramandata nell'isola di Bali racconta: "Vishnu, dio maschile della Fertilità e dell'Acqua, discese sulla terra per fornire miglior cibo alla popolazione che aveva come sola fonte di nutrimento succo di canna da zucchero. Vishnu fece sì che Madre Terra desse alta luce il riso e che Indra, Signore del Cielo, insegnasse all'uomo a coltivarlo. In questo modo il riso, fonte di vita e di benessere e dono degli dei, nacque dalle forze creative divine rappresentate dalla terra e dall'acqua. "

S.K. De Datta

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
1. RESUMO.....	01
2. SUMMARY.....	03
3. INTRODUÇÃO.....	05
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	07
4.1. Mudança climática.....	07
4.1.1. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	09
4.2. Arroz.....	10
4.2.1. Brusone do arroz.....	11
4.2.2. Rizosfera do arroz.....	13
4.3. Silício na planta.....	14
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5.1. Caracterização da área experimental.....	16
5.2. Preparo da área, instalação e condução dos experimentos.....	18
5.3. Inoculação de <i>Magnaporthe grisea</i> .....	19
5.4. Avaliações.....	20
5.4.1. Brusone do arroz.....	21
5.4.2. Brusone nos perfilhos.....	21
5.4.3. Patologia de sementes.....	21
5.5. Características agronômicas.....	22
5.6. Rizosfera do arroz.....	23
5.7. Quantificação de bactérias diazotróficas endofíticas.....	25
5.8. Análise estatística.....	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
6.1. Condições ambientais.....	27
6.2. Brusone do arroz.....	28
6.3. Altura de plantas de arroz.....	33

6.4. Massa das plantas secas.....	35
6.5. Massa de panículas e massa de grãos.....	39
6.6. Silício na planta.....	40
6.7. Rizosfera do arroz.....	41
7. CONCLUSÕES.....	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
APÊNDICES.....	57

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1A.</b> Esquema da área experimental do ensaio com estufas de topo aberto sem (Est) ou com injeção de CO <sub>2</sub> (Est + CO <sub>2</sub> ) e sem estufa (Test); B. Foto da área experimental. IRGA = Infrared gas analyzer .....	17
<b>Figura 2A.</b> Esquema da semeadura do arroz nas parcelas na safra 2007/08; B. Foto da parcela 1 (Testemunha).....	19
<b>Figura 3.</b> Massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Agulha Precoce cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) ou sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> e sem estufa (Test), 36 e 83 dias após o plantio, na safra 2007/08. C.V. (%) = 31,31; DMS= 1,19.....	36
<b>Figura 4.</b> Massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Shao Tiao Tsao cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) ou sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> e sem estufa (Test), 36 e 83 dias após o plantio, na safra 2007/08. C.V. (%) = 18,73; DMS= 0,62.....	36
<b>Figura 5.</b> Massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Agulha Precoce cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) ou sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> e sem estufa (Test), 36, 49 e 64 dias após o plantio, na safra 2008/09. C.V. (%) = 10,54; DMS= 0,46.....	37
<b>Figura 6.</b> Massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Shao Tiao Tsao cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) ou sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> e sem estufa (Test), 36, 49 e 64 dias após o plantio, na safra 2008/09. C.V. (%) = 24,27; DMS= 1,2.....	38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabelas</b>	<b>Página</b>
<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos de fertilidade do solo nas áreas amostradas (camada 0-15 cm) de estufas de topo aberto sem (Est) ou com injeção de CO <sub>2</sub> (Est + CO <sub>2</sub> ) e sem estufa (Test). Datas da amostragem: março de 2008 e novembro de 2008.....	18
<b>Tabela 2.</b> Média da concentração de CO <sub>2</sub> , temperatura do ar e radiação solar no campo experimental durante as épocas de crescimento das plantas de arroz, nos tratamentos com (Est+CO <sub>2</sub> ) e sem injeção de CO <sub>2</sub> (Est) e sem estufa (Test).....	27
<b>Tabela 3.</b> Porcentagem da área foliar lesionada pela brusone em plantas de arroz nas cultivares e nos tratamentos com (Est+CO <sub>2</sub> ) e sem injeção de CO <sub>2</sub> (Est) e sem estufa (Test), durante as épocas de avaliação (dias após o plantio) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), na safra 2007/08.....	29
<b>Tabela 4.</b> Porcentagem de área foliar lesionada pela brusone em plantas de arroz nas cultivares e nos tratamentos com e sem injeção de CO <sub>2</sub> , durante as épocas de avaliação (dias após o plantio) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), na safra 2008/09.....	30
<b>Tabela 5.</b> Área abaixo da curva de progresso da incidência da brusone (AACID) em perfilhos de plantas de arroz cv. Shao Tiao Tsao, cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) ou sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> e sem estufa (Test), na safra 2007/08.....	32
<b>Tabela 6.</b> Incidência dos principais fungos de sementes de arroz, em porcentagem, detectados através do teste do papel de filtro com congelamento, safra 2007/08 e safra 2008/09.....	33

<b>Tabela 7.</b> Média da altura de plantas de arroz, em cm, cultivadas sem estufa (Test) e em estufas de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) e sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> , na safra 2007/08.....	34
<b>Tabela 8.</b> Média da altura de plantas de arroz, em cm, cultivadas sem estufa (Test) e em estufas de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) e sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> , na safra 2008/09.....	34
<b>Tabela 9.</b> Massa seca de panículas e massa de grãos de duas cultivares de arroz cultivadas em estufa de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) ou sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> e sem estufa (Test), na safra 2007/08.....	39
<b>Tabela 10.</b> Massa seca de panículas e massa de grãos de arroz da cv. Agulha Precoce cultivada em estufa de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) ou sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> e sem estufa (Test), na safra 2008/09.....	40
<b>Tabela 11.</b> Porcentagem de silício nas folhas de arroz da cv. Agulha Precoce cultivada em estufa de topo aberto com (Est+CO <sub>2</sub> ) ou sem (Est) injeção de CO <sub>2</sub> e sem estufa (Test), na safra 2007/08 e safra 2008/09.....	41
<b>Tabela 12.</b> Efeito do aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico sobre características químicas e microbiológicas do solo rizosférico do arroz em ensaio conduzido em estufas de topo aberto, nas safras 2007/08 e 2008/09.....	42

## 1. RESUMO

O impacto da elevação da concentração de CO<sub>2</sub> do ar sobre a brusone do arroz foi avaliado em estufas de topo aberto (OTCs) na Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna/SP, por dois anos. Foram realizados ensaios com cultivares de arroz em estufas com injeção de CO<sub>2</sub>, estufas sem injeção de CO<sub>2</sub>, e campo aberto, sem injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa. Avaliaram-se as características de desenvolvimento das plantas, a incidência e a severidade da brusone do arroz, a caracterização química e microbiológica da rizosfera de plantas de arroz, e o teor de silício acumulado na parte aérea das plantas. No primeiro ensaio foi avaliada também a ocorrência de bactérias diazotróficas endofíticas nas raízes das plantas. A concentração média de CO<sub>2</sub> atmosférico do tratamento em campo aberto foi 459,4 e 447,4  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  na safra 2007/08 e safra 2008/09, respectivamente. Por outro lado, as concentrações médias de CO<sub>2</sub> foram 490,1 e 480,4  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  para o tratamento em estufa sem injeção de CO<sub>2</sub> e 531,9 e 608,6  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  para o tratamento com estufa com injeção de CO<sub>2</sub> na safra 2007/08 e safra 2008/09, respectivamente. Nos resultados obtidos, verificou-se o aumento significativo na altura de plantas das cultivares Agulha Precoce e Shao Tiao Tsao, na safra 2008/09, no tratamento com injeção do gás. Nas cultivares Caloro e Agulha Precoce, nas safras 2007/08 e 2008/09, respectivamente, o ambiente com a concentração de CO<sub>2</sub> do ar elevada aumentou a severidade da brusone nas folhas das plantas. A análise química e microbiológica da rizosfera não apresentou diferenças entre os ambientes com e sem injeção do gás. A massa seca da parte aérea das plantas, a massa das panículas e a massa dos grãos não sofreram alteração devido à

elevação do CO<sub>2</sub> atmosférico. O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> do ar pode alterar o crescimento das plantas e a severidade da brusone, acarretando novas estratégias de manejo fitossanitário da cultura.

---

Palavras-chave: *Magnaporthe grisea*, *Oryza sativa*, dióxido de carbono, mudança climática

**IMPACT OF ELEVATED ATMOSPHERIC CO<sub>2</sub> CONCENTRATION ON RICE BLAST. Botucatu, 2009. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.**

**Author: MARINA MELONI GÓRIA**

**Adviser: RAQUEL GHINI**

## 2. SUMMARY

The impact of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on rice blast disease was evaluated in open-top chambers (OTCs) in Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna /SP, for two years. Trials were developed under OTCs with injection of CO<sub>2</sub>, OTCs without injection of CO<sub>2</sub>, and field, without injection of CO<sub>2</sub> and without OTC. The characteristics of rice plants growth, the incidence and severity of rice blast, chemical and microbial characterization of rizosphere of rice plants, and leaf silicon content were evaluated. On the first trial it was also examined the occurrence of diazotrophic bacteria in rice plant's root. Actual season-long average CO<sub>2</sub> concentration in field without injection of CO<sub>2</sub> and without OTC were 459,4 e 447,4 μmol mol<sup>-1</sup> in 2007/08 and 2008/09, respectively. For the other hand, actual season-long average CO<sub>2</sub> concentration were 490,1 and 480,4 μmol mol<sup>-1</sup> in OTCs without injection of CO<sub>2</sub> and 531,9 and 608,6 μmol mol<sup>-1</sup> for the treatment under OTCs with CO<sub>2</sub> enrichment in 2007/08 and 2008/09, respectively. As results, Agulha Precoce and Shao Tiao Tsao, in 2008/09, it was found a significant increase on rice growth, on treatment with CO<sub>2</sub> injection. On Caloro and Agulha Precoce, in 2007/08 and 2008/09, respectively, the atmosphere with elevated CO<sub>2</sub> increased the severity of leaf blast. No significant difference was detected on rizosphere chemical and microbiological analysis in the atmosphere with injection of the gas. CO<sub>2</sub> enrichment resulted in a non-significant increase in grain weight, plant dry weight and the

panicles weight. The increase of CO<sub>2</sub> atmospheric concentration may alter the rice plant's growth and the severity of rice blast, and consequently, the strategies of disease management.

---

Palavras-chave: *Magnaporthe grisea*, *Oryza sativa*, carbon dioxide, climate change

### 3. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e a utilização intensa de combustíveis fósseis como fonte de energia tem contribuído para o aumento nas emissões de gases de efeito estufa. O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal gás responsável pelo efeito estufa. Suas emissões anuais cresceram aproximadamente 80 % entre 1970 e 2004, excedendo a escala natural dos últimos 650.000 anos (IPCC, 2007). O aumento desses gases na atmosfera contribui para a elevação da temperatura da superfície do planeta (CUNHA, 2000), que aumentou 0,74 °C desde o final do século XIX, e estima-se que em 2100 atingirá de 1,8 a 4,0 °C (IPCC, 2007). Além desse efeito sobre a temperatura da Terra, outras alterações também estão sendo desencadeadas devido à intensificação do efeito estufa, dentre elas destacam-se o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos, como ciclones tropicais (inclusive furacões e tufões), inundações, secas, aumentos das ondas de calor e fortes precipitações (MEEHL et al., 2007).

Mudanças no clima não alteram somente as características físicas do planeta, mas também ocasionam alterações no comportamento de plantas cultivadas, afetando o zoneamento agrícola, as técnicas de manejo e a produtividade das culturas (SIQUEIRA et al. 2001). Com o crescimento da demanda por alimentos devido ao aumento da população humana, se torna importante prever os efeitos da elevação nas concentrações de CO<sub>2</sub> na produção global de alimentos (REDDY e HODGES, 2000).

Estudos dobrando-se a concentração de CO<sub>2</sub> indicaram que pode haver um aumento de produtividade de 33 % em plantas C3 e 10 % em plantas C4, porém esses trabalhos foram conduzidos na ausência de danos causados por doenças e competição com plantas invasoras e pragas (PATTERSON et al., 1999; COAKLEY e SCHERM, 1996; CHAKRABORTY et al., 2000b; JWA e WALLING, 2001). Plantas de arroz tiveram um aumento no número de perfilhos em resposta ao aumento de CO<sub>2</sub> em ambiente controlado e uma maior área foliar por planta com pequenas mudanças na área individual das folhas (IMAI et al., 1985). Em contraste com o número de relatos sobre os efeitos do aumento de CO<sub>2</sub> no crescimento e produtividade das culturas, existem poucos estudos sobre os efeitos no desenvolvimento das doenças em resposta ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub> (ASSAD e PINTO, 2008).

Na literatura, não há relatos conclusivos sobre o aumento ou diminuição na severidade das doenças devido às alterações da concentração de CO<sub>2</sub> (GHINI, 2005). O desenvolvimento de uma planta é resultante da interação entre o seu genótipo e o ambiente. Assim, as mudanças no clima interferem na morfologia, fisiologia e metabolismo das plantas, resultando em alterações na ocorrência e severidade de doenças. Certamente, a natureza da planta hospedeira e do patógeno pode determinar como serão os impactos das alterações climáticas.

De modo geral, pouco se sabe a respeito dos efeitos em doenças policíclicas, que são responsáveis por significativas perdas na agricultura devido à ocorrência de severas epidemias (GHINI, 2005). Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar os efeitos do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> do ar sobre o desenvolvimento da brusone em cultivares de arroz, em ensaios conduzidos em estufas de topo aberto. Os objetivos específicos do projeto incluíram a avaliação dos efeitos do aumento do CO<sub>2</sub> sobre o crescimento, a incidência e a severidade da brusone em três cultivares de arroz; o teor de silício acumulado na parte aérea das plantas; a caracterização química e microbiológica da rizosfera de plantas de arroz e a ocorrência de bactérias diazotróficas endofíticas nas raízes das plantas.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. Mudança climática

A mudança climática é um desafio e um fator importante que o homem tem procurado compreender nas últimas décadas. O conjunto formado pela atmosfera, oceano e superfície da Terra é definido como sistema climático e as variações da constante solar, as variações na órbita da Terra ao redor do sol e as erupções vulcânicas são consideradas forçantes externas ao sistema que podem alterar o clima. O homem, através do uso intenso dos recursos naturais fornecidos pelo planeta, como a queima de combustíveis fósseis, desmatamentos e uso da terra, entre outros, também provoca a alteração climática. O efeito estufa que aquece a superfície da Terra é consequência da absorção eficiente de radiação infravermelha por constituintes atmosféricos. Como resultado da ação do homem, a concentração de alguns dos gases do efeito estufa natural tem aumentado e, desta forma, um efeito estufa adicional produzido tem sido introduzido na atmosfera. A intensificação desse efeito provoca o aquecimento da superfície da Terra. Quando os efeitos de *feed back* internos ao sistema climático são levados em conta, torna-se claro que as atividades humanas estão conduzindo uma mudança climática global que pode produzir variações muito intensas na temperatura da superfície da Terra, que durariam por milhares de anos (HARTMAN, 1994).

As concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso aumentaram em consequência das atividades humanas desde 1750 e

ultrapassaram em muito os valores pré-industriais determinados com base em testemunhos de gelo de milhares de anos. Os aumentos da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra (CANADELL et al., 2007). Já os aumentos da concentração de metano e óxido nitroso são devidos principalmente à agricultura (SPAHNI et al., 2005; IPCC, 2007).

Segundo Assad e Pinto (2008), a configuração da produção agrícola brasileira, do jeito como é conhecida hoje, pode mudar significativamente nos próximos anos em decorrência do aquecimento global. Se nada for feito para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e adaptar as culturas para a nova situação, regiões que atualmente são as maiores produtoras de grãos podem não estar mais aptas ao plantio bem antes do final do século. A mandioca pode desaparecer do Semi-Árido nordestino, e o café arábica terá poucas condições de sobrevivência no Sudeste. Por outro lado, os autores também afirmam que a região Sul, que hoje é mais restrita às culturas adaptadas ao clima tropical por causa do alto risco de geadas, deve experimentar uma redução desse evento extremo, ficando assim com mais áreas de baixo risco ao plantio dessas culturas. E a cana, apta a enfrentar temperaturas mais altas, pode dobrar sua área de ocorrência. A expectativa é que nas próximas décadas essa migração de culturas faça com que a produção agrícola do país gere uma nova ordem geográfica.

As variáveis climáticas (umidade, temperatura, vento, etc.) interferem na incidência de doenças, pois afetam o crescimento, a reprodução e a dispersão das plantas e dos patógenos. Os efeitos das mudanças climáticas sobre os danos causados pelas doenças são determinados pelas interações de um grande número de fatores diretos e indiretos. Entre os fatores diretos, as alterações da fisiologia e da morfologia da planta hospedeira, pelo aumento no teor de CO<sub>2</sub>, podem influir na interceptação da luz e precipitação, modificar a estrutura da parte aérea da planta e, conseqüentemente, o microclima, o que influencia os componentes epidemiológicos das doenças. Algumas doenças podem reduzir o desenvolvimento das plantas de forma mais acentuada em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub>, como relatado para oídio em cevada (HIBBERD et al., 1996). O crescimento de plantas doentes é frequentemente reduzido, mesmo quando a severidade da doença é diminuída com a elevação do CO<sub>2</sub> (CHAKRABORTY et al., 2000a).

A manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas é diretamente dependente da proteção de plantas. Dessa forma, é fundamental o estudo dos impactos em

doenças de plantas, com a finalidade de minimizar perdas de produção e de qualidade, auxiliando a escolha de estratégias para contornar os problemas (CHAKRABORTY et al., 2000a).

#### **4.1.1. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

O CO<sub>2</sub> é o gás de efeito estufa antrópico mais importante. Sua concentração atmosférica aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  para 379  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  em 2005, ultrapassando em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), como determinado a partir de testemunhos de gelo (análises das bolhas de ar contidas em testemunho de gelo na Antártica). A principal fonte de aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> desde o período pré-industrial se deve ao uso de combustíveis fósseis, sendo que a mudança no uso da terra contribui com uma parcela significativa, porém menor (IPCC, 2007), e cerca de 40% das emissões antrópicas permanecem na atmosfera (TANS et al., 1996; CONWAY et al., 1994).

O CO<sub>2</sub> atmosférico é absorvido pelas plantas clorofiladas e bactérias quimiossintetizantes onde é utilizado para a formação de compostos orgânicos. Parte do CO<sub>2</sub> volta diretamente à atmosfera pela respiração das plantas. Durante o dia a planta absorve CO<sub>2</sub> e libera O<sub>2</sub> por meio da fotossíntese, mas durante a noite as plantas deixam de realizar fotossíntese e passam a dar contribuição para o aumento da concentração em seu processo respiratório (absorvem O<sub>2</sub> e liberam CO<sub>2</sub>) (SANTOS, 1999). Porém, o equilíbrio não é perfeito e o resultado final dependerá de outros processos, que irão controlar uma produção ou mesmo absorção líquida de CO<sub>2</sub>.

As tendências dos impactos devido às alterações da concentração de CO<sub>2</sub> na agricultura são pouco precisas (GHINI, 2005). Mudanças morfológicas e fisiológicas que podem ocorrer e afetar as interações patógeno-hospedeiro incluem a redução na densidade de estômatos, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, maior camada de ceras e de células epidermais, com aumento no teor de fibras, produção de papilas, acúmulo de silício e aumento do número de células do mesófilo (CHAKRABORTY et al., 2000a). A elevação da concentração de CO<sub>2</sub> altera o início e a duração dos estádios de desenvolvimento do patógeno. Dessa forma, os mecanismos de resistência das plantas hospedeiras podem ser quebrados mais

rapidamente, como resultado do desenvolvimento acelerado das populações dos patógenos (CHAKRABORTY et al., 2001).

Na literatura, não está claro se a severidade das doenças irá aumentar ou diminuir (THOMPSON e DRAKE, 1994; MANNING e TIEDMANN, 1995; HIBBERD et al., 1996; JWA e WALLING, 2001). Plantas de tomate submetidas ao CO<sub>2</sub> atmosférico elevado (700 µmol mol<sup>-1</sup>), apresentaram aumento na tolerância à infecção por *Phytophthora parasitica* (JWA e WALLING, 2001). Hibberd et al. (1996) verificaram que níveis elevados de CO<sub>2</sub> atmosférico (700 µmol mol<sup>-1</sup>) reduziram a penetração por *Erysiphe graminis* em folhas de cevada. Thompson e Drake (1994) relataram a redução de oídio (*E. graminis*) em trigo sob as mesmas condições de CO<sub>2</sub>.

Por outro lado, a severidade da infecção por um fungo patogênico não identificado aumentou na grama *Spartina patens*. Manning e Tiedemann (1995) sugeriram que a elevação do CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou o crescimento e densidade dos perfilhos da grama e, conseqüentemente, tornou o microclima mais favorável ao desenvolvimento de diversas doenças.

## 4.2. Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das plantas alimentícias mais antigas utilizadas pelo homem, sendo impossível determinar com exatidão a época em que começou a ser cultivado. Na literatura chinesa de 3.000 A.C., menciona-se a cerimônia da semeadura do arroz, um evento que somente o imperador tinha o privilégio de presidir (ANGLADETTE, 1969).

No Brasil, a produção de arroz está em torno de 11,32 milhões de toneladas e tem um consumo per capita de 45 kg/hab/ano (CONAB, 2008). O plantio no ecossistema de terras altas corresponde a 66 % da área total cultivada de arroz no Brasil, e contribuiu com 31 % da produção nacional (SANINT, 1997). A baixa produtividade se deve principalmente aos baixos investimentos em manejo da cultura, deficiência hídrica, genética e doenças. A tolerância da planta ao calor e ao frio varia bastante ao longo de seu ciclo, o que faz com que a temperatura ótima para o seu desenvolvimento fique entre 20 °C a 35 °C. A fase mais sensível do arroz a altas temperaturas é a floração, que só ocorre com sucesso entre 30 °C

a 33 °C. A cultura também é bastante dependente de água, principalmente no período de florescimento e enchimento dos grãos. Se estas fases do ciclo de vida da planta caírem em uma época de estresse hídrico, os processos de desenvolvimento reprodutivo podem ser prejudicados, resultando em esterilidade, dessecamento das espiguetas e, por fim, numa diminuição no rendimento da cultura (ASSAD e PINTO, 2008).

Luo et al. (1995), ao realizarem uma análise de risco sobre os efeitos provocados por mudanças nos padrões de temperatura e raios UV-B em epidemias causadas por *Magnaporthe grisea* em arroz na Ásia, relataram que, em zonas tropicais úmidas e subtropicais quentes e úmidas, como o Sul da China, Filipinas e Tailândia, baixas temperaturas aumentaram o risco de epidemias da brusone, desde que essas temperaturas estivessem entre os valores favoráveis à ocorrência dessa doença. No entanto, uma grande área abaixo da curva de progresso da doença não apresentou resultados de baixa produtividade da cultura, pois os efeitos no crescimento da planta também foram considerados. Os autores também relataram que o aumento da radiação UV-B intensificou significativamente a ocorrência da doença.

Estudos realizados por Assad e Pinto (2008), baseados em dados fornecidos pelo IPCC (2007), mostraram que as mudanças climáticas devem provocar redução de áreas de baixo risco para a cultura do arroz principalmente no Agreste e nas regiões de Cerrado nordestino, compreendido entre o sul do Maranhão, o sul do Piauí e o oeste da Bahia. O cultivo deve acentuar, nos próximos anos, um movimento que já vem ocorrendo hoje de migração para o centro-norte do Mato Grosso em busca de condições mais favoráveis de distribuição de chuvas. O arroz só não deve sofrer um impacto maior porque atualmente seu nível de produtividade vem crescendo bastante.

#### **4.2.1. Brusone do arroz**

Um dos maiores entraves ao cultivo do arroz, sobretudo no sistema de sequeiro, atualmente denominado de terras altas, é a ocorrência de brusone. O seu agente etiológico é o fungo *Magnaporthe grisea* (Hebert) Barr [= *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc.] e tem sido responsável por perdas totais ou parciais das lavouras. Por isso, tem se constituído em uma das maiores preocupações dos rizicultores. No Brasil, segundo Silva (1980), os danos

ocasionados pela brusone podem chegar a 100 %, dependendo do grau de suscetibilidade da cultivar, do sistema de produção e das condições climáticas. Em experimentos conduzidos sob condições de campo (PRABHU e MORAES, 1986), os danos em produção variaram de 15 a 30 %. A cada aumento de 1 % na severidade da doença, a produtividade diminuiu 2,7 % e 1,5 % em cultivares de ciclo curto e longo, respectivamente (PRABHU, 1989).

A brusone ocorre desde o estágio de plântula até a fase de maturação da cultura. Os sintomas nas folhas iniciam-se com a formação de pequenas lesões necróticas, de coloração marrom, que evoluem, aumentando de tamanho, tornando-se elípticas, com margem marrom e centro cinza ou esbranquiçado. Em condições favoráveis, as lesões coalescem, causando a morte das folhas e, em muitas vezes, da planta inteira. Os sintomas observados nos entrenós são comuns somente nas cultivares suscetíveis de arroz de terras altas. Diversas partes da panícula, como ráquis, ramificações primárias, secundárias e pedicelos, também são infectadas. Em condições de alta umidade, o fungo esporula nas espiguetas, causando chochamento completo na fase leitosa. Detalhes dos sintomas são descritos em diversas publicações (RIBEIRO, 1984; WEBSTER e GUNELL, 1992; PRABHU et al., 1995).

O agente causal da brusone *M. grisea* é perpetuado assexualmente por meio de conídios. Nas cultivares suscetíveis, a quantidade de lesões esporulativas depende das práticas culturais adotadas e muitos fatores afetam a produção e a liberação de conídios tais como temperatura, precipitação pluviométrica, umidade, vento e a resistência do hospedeiro.

A esporulação aumenta quando a umidade relativa é superior a 93 % e não ocorre abaixo de 89 %, enquanto que a temperatura ideal varia entre 25 e 28 °C. Sob condições ideais, alta taxa de produção de conídios ocorre entre três e oito dias após o aparecimento da lesão e estende-se por mais de 20 dias (KIM, 1994). As lesões mantêm sua capacidade de esporulação por períodos mais prolongados quando a temperatura varia entre 16 e 24 °C, do que com temperatura constante de 28 °C.

Precipitações com intensidade superior a 3,5 mm/dia são importantes na redução da doença (KIM, 1994). A incidência de brusone em arroz de terras altas, em anos chuvosos, tem sido menor que em anos com deficiência hídrica. No Brasil Central, a alta severidade da brusone é favorecida por oscilações de temperatura entre o dia e a noite, resultando em períodos prolongados de orvalho (PRABHU e MORAIS, 1986).

Plantas de arroz crescidas em ambiente com elevado CO<sub>2</sub> atmosférico (200 a 280 µmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> acima da concentração atmosférica atual) foram mais suscetíveis à brusone do que as plantas crescidas em ambiente sem a injeção do gás, indicadas pelo aumento no número de lesões de brusone por folha. A redução no conteúdo de silício nas folhas de arroz devido a uma redução na taxa de respiração explicou o aumento na severidade da doença no experimento do tipo FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment). Em contraste com a brusone nas folhas, a severidade da brusone nas panículas não foi afetada pelo enriquecimento do CO<sub>2</sub> atmosférico sob condições artificiais de inoculação do fungo (KOBAYASHI et al., 2006).

#### **4.2.2. Rizosfera do arroz**

A rizosfera refere-se à região do solo influenciada pelas raízes, com máxima atividade microbiana. O crescimento das plantas é controlado substancialmente pelo solo na região radicular, um ambiente que a própria planta ajuda a criar e onde a atividade microbiana associada exerce diversas atividades benéficas. A rizosfera é importante para processos relacionados com a nutrição da planta, trocas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, gradientes de unidades do solo, mineralização, amonificação, nitrificação e simbiose.

O efeito geral do aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> em plantas é o aumento nas taxas fotossintéticas e na maior produtividade da planta (STITT, 1991). Muitas espécies de planta alocam relativamente mais carbono fixado abaixo do solo quando expostas ao CO<sub>2</sub> elevado (COTRUFO e GORISSEN, 1997). O aumento no crescimento das plantas e, conseqüentemente, de suas raízes, promove uma elevação do carbono orgânico do solo devido ao aumento da rizodeposição. Assim, maiores taxas de respiração do solo são observadas sob condições de CO<sub>2</sub> atmosférico elevado (ZAK et al., 2000).

A composição bioquímica do solo provavelmente é alterada em níveis elevados de CO<sub>2</sub>; a relação C:N nas raízes e nas folhas aumenta (COTRUFO et al., 1998), mas pouco se sabe sobre a composição das substâncias que são liberadas pelas raízes em condições de CO<sub>2</sub> atmosférico elevado (HODGE et al., 1998). Os decompositores do solo são geralmente limitados pelo carbono; conseqüentemente, mudanças na rizodeposição das plantas podem ter

um efeito significativo na biomassa, na atividade e na estrutura das comunidades microbianas do solo. Níveis elevados de CO<sub>2</sub> resultaram no aumento da biomassa microbiana do solo (COTRUFO e GORISSEN, 1997; DHILLION et al., 1996; DIAZ et al., 1993; ZAK et al., 1996), no entanto outros estudos não detectaram tal efeito (NIKLAUS e KÖRNER, 1996; O'NEILL et al., 1987; RUNION et al., 1994).

A atividade dos microrganismos é avaliada em termos metabólicos, como por exemplo, através da avaliação da taxa de respiração (consumo de O<sub>2</sub> ou emissão de CO<sub>2</sub>), reações bioquímicas específicas ou observações microscópicas *in situ* (SIQUEIRA et al., 1994). A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) é um método utilizado para avaliar a atividade microbiana no solo. A fluoresceína permanece na célula causando fluorescência intracelular que pode ser visualizada por espectrofotometria (BOEHM e HOITINK, 1992; INBAR et al., 1991).

Diversos estudos têm mostrado que alguns genótipos de arroz cultivados podem obter parte do N necessário ao seu desenvolvimento pelo processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (LADHA et al., 1987). As bactérias que habitam o interior do tecido vegetal podem contribuir de forma mais efetiva para a FBN, já que a troca se faz de forma direta, e há menos competição por fontes de carbono, pois nem todos os microrganismos são capazes de penetrar no tecido vegetal (BALDANI et al., 1997). Várias bactérias diazotróficas endofíticas, representantes dos gêneros *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Burkholderia* e *Herbaspirillum*, foram identificadas em associação com variedades de arroz, em diferentes países. Entretanto, pouco se sabe a respeito da diversidade da população desses gêneros, nessa cultura.

### **4.3. Silício**

O silício (Si) geralmente não é considerado entre o grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. Por isso não tem sido estudado no Brasil tão intensivamente como outros nutrientes. Entretanto, numerosos autores no Japão, Coréia, Taiwan e no Sul da Flórida, nos Estados Unidos, têm demonstrado a importância do Si para as culturas do arroz e da cana-de-açúcar (IMAIZUMI e YOSHIDA, 1958; TAKIJIMA et

al., 1970; LIAN, 1976; YOSHIDA et al., 1979; SNYDER et al., 1986; DATNOFF et al., 1992).

Mesmo não sendo essencial, do ponto de vista fisiológico, para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1994), a sua absorção traz inúmeros benefícios, principalmente ao arroz. Pesquisas realizadas em solos orgânicos no Sul da Flórida demonstraram que a fertilização com Si reduziu a incidência de brusone de 17 % a 31 % e a mancha parda de 15 % a 32 % do arroz, em relação ao tratamento que não recebeu silício (DATNOFF et al., 1991).

A incidência de doenças é menor quando o teor de Si no tecido da planta é maior (DATNOFF et al., 1991; OSUNA-CANIZALES et al., 1991; KORNDÖRFER et al., 1999). O Si é absorvido pelas plantas como ácido monossilícico -  $\text{Si(OH)}_4$  (JONES e HANDRECK, 1967), e acredita-se que o mecanismo de resistência da planta esteja associado com o teor de Si no tecido da parede celular, tornando-a mais resistente à degradação enzimática. Segundo Balastra et al. (1989), o silício é transportado pelo xilema e as maiores quantidades são depositadas na parede celular destes vasos. Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui nas plantas. Snyder et al. (1986) sugerem que as plantas de arroz deveriam conter pelo menos 3 % de Si na parte aérea para garantir um ótimo desenvolvimento.

Uma boa colheita de arroz chega a extrair 1,5 t de  $\text{SiO}_2$ /ha (MALAVOLTA, 1980). Vários pesquisadores (ALESHIN et al., 1987; DATNOFF et al., 1991; OSUNA-CANIZALES et al., 1991) tem mostrado que o silício reduz a severidade de várias doenças de importância econômica tais como a brusone, mancha parda e escaldadura entre outras. Estas doenças tendem a diminuir com o aumento da concentração de silício no tecido foliar (DATNOFF et al., 1991; OSUNA-CANIZALES et al., 1991).

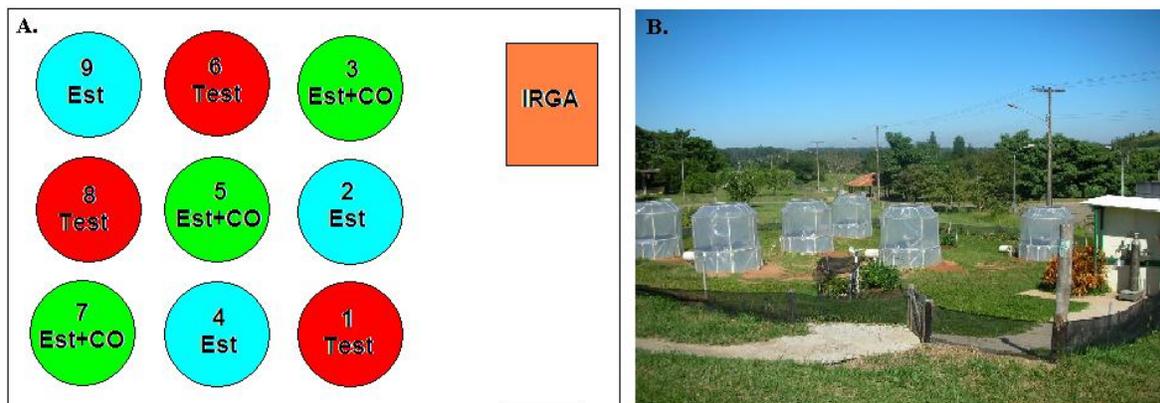
## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido por um período de dois anos na área experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna/SP, que se localiza na latitude 22°41' Sul e longitude 47° Oeste, com altitude de 570 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (CRITCHFIELD, 1960), é do tipo Cwa, definido como tropical úmido com estação chuvosa distinta no verão e seco no inverno.

O estudo foi feito seguindo delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições e três tratamentos: sem estufa de topo aberto (“open-top chambers”, OTC) (Test), com estufa sem injeção de CO<sub>2</sub> (Est) e com estufa com injeção de CO<sub>2</sub> (Est + CO<sub>2</sub>) até atingir entre 100 a 300  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  acima da concentração atmosférica atual (aproximadamente 379  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub>), sendo esse o valor estimado pelo IPCC (2007) para 2050 (445 a 710  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub>) (Figura 1A).

As estufas utilizadas possuem formato circular, com estrutura de ferro galvanizado, com 1,9 m de diâmetro e 2 m de altura, laterais protegidas por um filme plástico transparente de polietileno com aditivo estabilizador de luz ultravioleta, e equipadas com um redutor de abertura do topo para deflexionar o ar e prevenir a diluição da concentração desejada de CO<sub>2</sub> dentro da estufa (Figura 1B).



**Figura 1A.** Esquema da área experimental do ensaio com estufas de topo aberto sem (Est) ou com injeção de  $\text{CO}_2$  (Est +  $\text{CO}_2$ ) e sem estufa (Test); **B.** Foto da área experimental. IRGA = Infrared gas analyzer.

Tubos de 5 mm de diâmetro contidos em tubos de PVC (10 cm de diâmetro), na profundidade de 15 cm, com a extremidade instalada no centro das parcelas a 50 cm do solo, conduziram as amostras de ar para um analisador infravermelho de gás (IRGA, “infrared gas analyzer”, marca P.P. Systems, modelo WMA-4, 0 a 2000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), que forneceu informações para um multiplexador de corrente (marca Campbell Scientific, modelo SDM CD16AC) que regulou a abertura de válvulas para injeção de  $\text{CO}_2$  na estufa (tratamento Est+ $\text{CO}_2$ ). O  $\text{CO}_2$  puro foi injetado contra um ventilador para assegurar uma mistura adequada e atingir a concentração visada. Estufas semelhantes à descrita, sem injeção de  $\text{CO}_2$  (tratamento Est), foram utilizadas para comparações, fornecendo as condições de atmosfera atual. Além disso, parcelas sem a estufa (tratamento Test) foram monitoradas quanto às variáveis climáticas para verificar os efeitos da estrutura da estufa.

Amostras de ar de todas as parcelas foram continuamente coletadas e analisadas em intervalos de 10 minutos. Sensores de temperatura e radiação solar forneceram informações que também foram registradas e armazenadas em coletores de dados (dataloggers). O sistema de irrigação por aspersão foi acionado manualmente, em períodos sem a ocorrência de precipitação.

A área é utilizada com tal finalidade desde 2005 com experimentos de injeção de CO<sub>2</sub> em parcelas com e sem estufa, sendo conduzidas culturas de arroz, soja, café e feijão.

As amostras de solo foram retiradas na camada de 0-15 cm, nas entrelinhas da cultura, com três repetições de cada tratamento, onde cada amostra foi composta por cinco subamostras. A Tabela 1 apresenta os dados de fertilidade do solo dos três tratamentos no período do ensaio 1 (safra 2007/08) e antes da instalação do ensaio 2 (safra 2008/09).

**Tabela 1.** Atributos químicos de fertilidade do solo nas áreas amostradas (camada 0-15 cm) de estufas de topo aberto sem (Est) ou com injeção de CO<sub>2</sub> (Est + CO<sub>2</sub>) e sem estufa (Test). Datas da amostragem: março de 2008 e novembro de 2008.

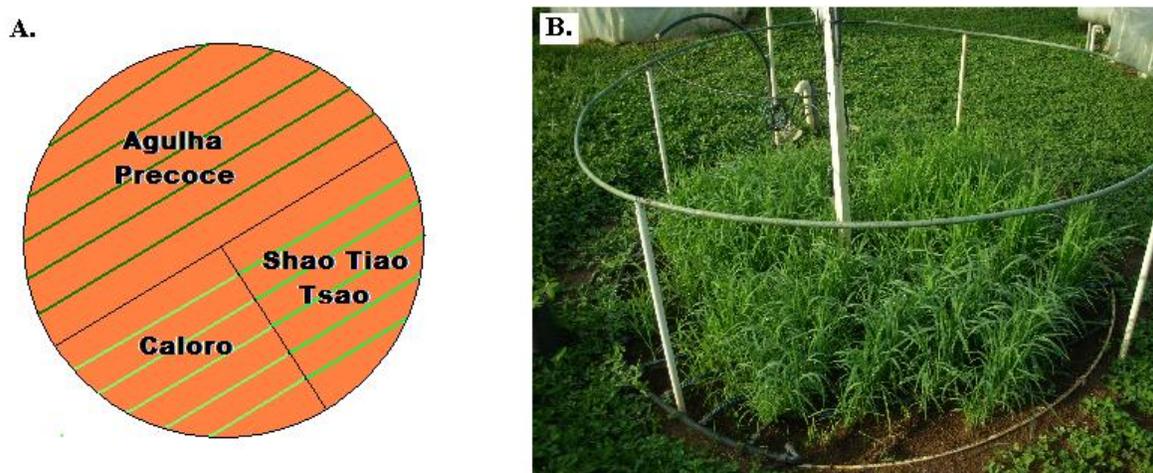
<b>Tratamento</b>	<b>MO</b> g/dm <sup>3</sup>	<b>pH</b> CaCl <sub>2</sub>	<b>P</b> mg/dm <sup>3</sup>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>H+Al</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b> (%)
----- março/2008 -----									
Test	21,0	5,9	59,4	0,9	45,0	16,0	16,7	78,5	78,7
Est	21,7	5,8	46,5	1,1	45,7	15,7	21,0	80,1	77,5
Est+CO <sub>2</sub>	18,0	5,8	50,3	0,8	42,0	15,0	19,0	76,8	75,3
----- novembro/2008 -----									
Test	27,3	5,5	38,0	1,7	48,0	17,3	21,0	88,2	74,7
Est	27,3	5,4	23,0	1,4	45,0	13,7	23,3	83,5	71,0
Est+CO <sub>2</sub>	27,3	5,5	20,0	1,3	45,7	13,3	22,3	82,9	72,7

## 5.2. Preparo da área, instalação e condução dos experimentos

O preparo do solo constituiu no destorroamento de dez centímetros superficiais do solo com enxada e nivelamento. No ensaio 1 (safra 2007/08), o solo foi adubado com 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 10-10-10 e 25 kg ha<sup>-1</sup> na forma de sulfato de amônio, e adubação orgânica (esterco de gado) na dosagem de 7 L m<sup>-2</sup>. No ensaio 2 (safra 2008/09), não foi feita adubação, pois os atributos relativos à fertilidade mostraram-se adequados na análise realizada. Foram feitas adubações periódicas com uréia (8 kg.ha<sup>-1</sup>).

Realizou-se a semeadura da safra 2007/08, em linha, no dia 27/12/2007 de 120 sementes de arroz da cultivar Agulha Precoce, 60 sementes da cultivar

Caloro e 60 sementes da cultivar Shao Tiao Tsao, em sistema de cultivo de sequeiro. As parcelas foram divididas em quatro subparcelas, sendo duas destinadas à semeadura da cultivar Agulha Precoce, uma à cultivar Caloro e uma à cultivar Shao Tiao Tsao (Figuras 2A e 2B). Na safra 2008/09 (semeadura em 05/01/2009), utilizou-se as cultivares Agulha Precoce e Shao Tiao Tsao, com 90 sementes por cultivar, semeadas em linhas intercaladas dentro da parcela.



**Figura 2A.** Esquema da semeadura do arroz nas parcelas na safra 2007/08; **B.** Foto da parcela 1 (Testemunha).

Durante a safra 2007/08, duas aplicações do inseticida deltametrina (Decis 25 CE), na dose de  $1\text{L ha}^{-1}$  foram realizadas visando principalmente ao controle da lagarta-das-folhas (*Spodoptera frugiperda*). O controle de plantas invasoras foi feito por meio de capinas manuais. Todas as avaliações de campo foram realizadas nas áreas úteis (três linhas centrais de cada quadrante), durante o período de cultivo.

### 5.3. Inoculação de *Magnaporthe grisea*

Isolados de *M. grisea*, P01, 2449, 1365, fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão, foram utilizados para o preparo de inóculo. Foi utilizado meio constituído por 15 g de farelo de arroz, 15 g de aveia em flocos finos, 5 g dextrose, 20 g ágar, água destilada qsp 1000 mL, determinado como um bom indutor de esporulação (MALAVOLTA et al.,

2009). Os isolados foram transferidos para placas de Petri contendo esse meio, e incubados por 11 dias à temperatura de 27 °C e 12 h de alternância de luz branca e fluorescente/escuro. Após esse período cada placa recebeu 3 mL de água destilada esterilizada e a colônia teve seu micélio aéreo retirado com o auxílio de uma alça de Drigalski, sendo então transferidas para luz fluorescente contínua, à temperatura de 27 °C, por dois dias. As superfícies das placas foram então lavadas com água com Tween (0,02% v/v) destilada e esterilizada. As suspensões obtidas foram filtradas com pano de voal e algodão. A concentração de conídios foi ajustada para aproximadamente  $3 \times 10^5$  conídios mL<sup>-1</sup>.

As plantas de arroz foram inoculadas durante o período vegetativo com os esporos de *M. grisea*, logo após o por do sol, pulverizando-se manualmente 2 mL da suspensão de conídios por planta, sendo essa quantidade aumentada nas demais pulverizações, até atingir 30-40 mL da suspensão de conídios por planta. Na safra 2008/09 as parcelas foram cobertas com plástico preto e inoculadas com os esporos do fungo, sendo o plástico retirado logo após o amanhecer do dia seguinte. O plástico impediu a entrada de vento e manteve a umidade na superfície da folha.

A inoculação foi feita cinco vezes em cada ensaio, sendo conduzidas no início da formação da cultura. Na safra 2007/08, uma ocorrência natural de brusone nas plantas foi observada logo no início do desenvolvimento da cultura, sendo feitas somente três inoculações nesse período.

#### **5.4. Avaliações**

Foram avaliadas as características de desenvolvimento das plantas, incidência e severidade da brusone do arroz, caracterização química e microbiológica da rizosfera de plantas de arroz e teor de silício acumulado na parte aérea das plantas. No primeiro ensaio foi avaliada também a ocorrência de bactérias diazotróficas endofíticas nas raízes das plantas.

#### **5.4.1. Brusone do arroz**

Avaliou-se a incidência da brusone nas folhas em dez plantas de cada cultivar/parcela tomadas ao acaso. A severidade, expressa em porcentagem de área foliar afetada, foi determinada em todas as folhas superiores completamente distendidas, dos perfilhos principais em dez plantas, em três linhas centrais das parcelas aos 33, 36, 39, 43, 48, 57 e 63 dias após o plantio (DAP) na safra 2007/08, e aos 36, 42, 49, 57, e 64 DAP na safra 2008/09. Para essa avaliação utilizou-se uma escala considerando 0; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64 e 82 % de área foliar afetada, de acordo com Nottoghem (1981). Com os dados da severidade da brusone, procedeu-se a construção da curva de progresso e a determinação da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Essa foi calculada pelo somatório das áreas trapezoidais, conforme metodologia proposta por Campbell e Madden (1990).

#### **5.4.2. Brusone nos perfilhos**

Na safra 2007/08, durante a fase de maturação, foram feitas três avaliações de perfilho na cultivar Shao Tiao Tsao aos 115, 122 e 130 DAP, fazendo-se a contagem de todas as plantas e anotando-se o número de plantas com ruptura do tecido da região nodal e morte das partes situadas acima deste ponto, caracterizando a presença de *M. grisea* nos perfilhos das plantas. Dessa forma, obteve-se a porcentagem de plantas doentes da cultivar nas parcelas. Com os dados da incidência da doença, procedeu-se à construção da curva de progresso e à determinação da área abaixo da curva da incidência da doença (AACID). Essa foi calculada pelo somatório das áreas trapezoidais, conforme metodologia proposta por Campbell e Madden (1990).

#### **5.4.3. Patologia de sementes**

Na safra 2007/08 e 2008/09 avaliou-se a incidência de *M. grisea* nas sementes de arroz da cultivar Shao Tiao Tsao por meio do teste de papel de filtro com congelamento (NEERGAARD, 1977). As cultivares Agulha Precoce e Caloro não foram avaliadas por não apresentarem sinais da brusone nos perfilhos. Amostras de 100 sementes de

cada parcela foram incubadas em placas de Petri de 9 cm de diâmetro, contendo, três folhas de papel de filtro umedecidas com água destilada. Utilizaram-se quatro placas por tratamento, com 25 sementes em cada. Estas foram mantidas em ambiente controlado, com temperatura de  $20\pm 2$  °C, em fotoperíodo de 12 h de luz branca e 12 h de escuro, seguindo-se um período de 24 h à -18 °C, e posteriormente retornado às condições iniciais de incubação por um período de cinco dias. Após esse período de incubação, a avaliação foi realizada em cada semente individualmente, sob microscópio estereoscópico, sendo a identificação dos fungos feita pelas características morfológicas de crescimento sobre as sementes e também em microscópio óptico, por meio de lâminas feitas do material coletado nas sementes.

### **5.5. Características agronômicas**

Várias características de importância para a cultura foram avaliadas com o objetivo de relacionar o efeito dos diferentes tratamentos de CO<sub>2</sub> com a doença. As características avaliadas foram: altura de plantas, massa da parte aérea, massa de panículas e massa de grãos. Para determinar a altura de plantas, durante a fase vegetativa (27, 36 e 57 DAP na safra 2007/08, e 36, 49 e 64 DAP na safra 2008/09), tomaram-se aleatoriamente, cinco plantas representativas da área útil. Cada planta foi medida do solo até a extremidade da folha mais alta e, em seguida, estimou-se a média por parcela. Para a massa seca das plantas, foram amostradas ao acaso dez plantas representativas da área útil, aos 36 e 83 DAP na safra 2007/08 e aos 36, 49 e 64 DAP na safra 2008/09. As plantas foram acondicionadas em sacos de papel e posteriormente colocadas em estufa a 62 °C até atingirem massa constante. Após esse período foram retiradas e pesadas em balança semi-analítica, estimando-se a média de cada cultivar por parcela. A massa de panículas foi determinada aos 92 DAP (safra 2007/08) e 90 DAP (safra 2008/09), para tanto, tomaram-se aleatoriamente, dez panículas de cada cultivar por parcela. As panículas foram colocadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa a 62 °C até atingirem massa constante. O valor obtido após esse período foi dividido pelo número total de panículas, obtendo dessa forma a massa média por panícula. A massa de grãos foi determinada aos 92 DAP para a safra 2007/08 e 90 DAP para a safra 2008/09, seguindo a metodologia indicada pelas “Regras para análises de sementes” (IRIGON e MELLO, 1992), onde de cada parcela útil colhida foi tomada uma amostra aleatória de 100 grãos, seca em

estufa a 62 °C até atingir massa constante e, posteriormente, pesada em balança eletrônica calibrada.

Aos 80 DAP (safra 2007/08) e 75 DAP (safra 2008/09), as folhas-bandeira de 30 plantas de arroz foram retiradas e analisou-se o conteúdo Si segundo o método descrito por Elliott e Snyder (1991). Pesou-se 0,1 g da amostra (tecido foliar) e colocou-se em tubo de plástico. A seguir foi acrescentado 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%) mais 3 mL de NaOH (1:1). Depois de agitados, os tubos foram imediatamente colocados na autoclave por um período de 1 h a 123 °C e 1,5 atm. de pressão. Uma alíquota do material digerido foi misturado com 2 mL de molibdato de amônio 1:5 [(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O:água destilada] para a formação do complexo amarelo ácido sílicomolibdico [H<sub>4</sub>(SiMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>)]. A formação do complexo ácido é máxima entre pH 1,0 e 2,0. Para baixar o pH das amostras, quantidades de HCl (50%) proporcionais ao volume da alíquota foram adicionadas. O ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfônico (reductor), utilizado para eliminar a interferência do P e do Fe, foi substituído pelo ácido oxálico (75 g de (COOH)<sub>2</sub>. 2H<sub>2</sub>O em 200 mL de água destilada) na proporção de 2 mL por amostra. A leitura do Si nos extratos foi feita em foto-colorímetro, no comprimento de onda de 410 nm. A quantidade de Si acumulada na parte aérea foi calculada com base na concentração de Si da parte aérea.

## 5.6. Rizosfera do arroz

Três subamostras da rizosfera do arroz (com 5x5 cm de largura e comprimento e 6-8 cm de profundidade), aos 83 DAP (safra 2007/08) e 95 DAP (safra 2008/09), foram retiradas de cada parcela. O solo próximo à superfície das raízes foi gentilmente retirado, destorroado, peneirado (2 mm) e homogeneizado formando uma amostra composta de 0,5 kg. Foram feitas as análises de pH, condutividade elétrica, atividade microbiana e liberação de CO<sub>2</sub>.

Para a determinação do pH, amostras de 10 g de solo, em três repetições, foram colocadas em frascos de plástico, juntamente com 25 mL de água bidestilada. A seguir, procedeu-se a agitação em agitador mecânico por 15 min a 120 rpm. As amostras ficaram em repouso por 3 h e procedeu-se a leitura em pHmetro – Digimed digital (DM – 20). Para a análise de condutividade fez-se triplicatas das amostras utilizando-se 10 g

de solo para cada repetição. Estas foram colocadas em frascos de Erlenmeyer (250 mL), a seguir adicionou-se 50 mL de água bidestilada. Posteriormente, agitou-se mecanicamente as amostras por 2 h a 120 rpm. As amostras ficaram em repouso por uma noite e procedeu-se a leitura da condutividade do sobrenadante em condutivímetro calibrado.

Para a determinação da atividade microbiana do solo, foi usado o método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), semelhante ao descrito por Boehm e Hoitink (1992) e citado por Ghini et al. (1998). Amostras de 5 g de solo, em três repetições, foram colocadas em frascos de Erlenmeyer (250 mL), juntamente com 20 mL de tampão fosfato de potássio 60mM, pH 7,6 (8,7 g de  $K_2HPO_4$  e 1,3 g de  $KH_2PO_4$ /L de água destilada). A reação de hidrólise de FDA (Sigma Chemical Co.) foi iniciada adicionando-se 0,2 mL (200  $\mu$ L) de solução estoque de FDA (2 mg  $mL^{-1}$  acetona). As amostras foram colocadas em agitador a 160 rpm e incubadas à 25°C, durante 20 min. A reação foi interrompida pela adição imediata de 20 mL de acetona por frasco. A seguir, procedeu-se a filtragem de cada amostra utilizando-se papel de filtro (Whatman n° 1), sendo os filtrados recolhidos em tubos de ensaio mantidos à baixa temperatura para evitar a evaporação da acetona. Em espectrofotômetro, determinou-se a absorvância (490 nm) dos filtrados. O teor de umidade foi utilizado para estabilizar a equação da hidrólise de diacetato de fluoresceína. Foram pesadas cerca de 10 g de solo, em três repetições. Procedeu-se a secagem das amostras em estufa de secagem a 100 °C até se obter a massa constante (aproximadamente 24 h). A partir dos resultados fez-se o cálculo do fator de correção da umidade  $P_s/P_u$ , para cada uma das amostras, onde  $P_s$  (massa do solo seco) e  $P_u$  (massa do solo úmido). A concentração de FDA hidrolisado ( $\mu$ g FDA hidrolisado/g solo seco) foi obtida por meio de uma curva padrão. A curva padrão foi obtida adicionando-se FDA, nas quantidades de 0, 100, 200, 300 e 400  $\mu$ g, em 5 mL de tampão fosfato, contido em tubos de ensaio. Os tubos foram mantidos por 60 min em água fervente, para hidrolisar o FDA. Após a hidrólise, o FDA foi então adicionado a Erlenmeyers contendo 5 g de solo às amostras e 15 mL de tampão fosfato, em três repetições. A seguir, metodologia semelhante à descrita anteriormente foi realizada para se obter a curva padrão entre o FDA hidrolisado e a absorvância.

Para a avaliação da respiração microbiana, amostras de solo (100 g) foram incubadas em recipientes plásticos hermeticamente fechados (volume de 2 L), em três repetições, contendo 10 mL de KOH 0,5N, no escuro, a 25 °C. Após 17 dias de incubação, o

KOH foi titulado com HCl, segundo o método descrito por Grisi (1978), para a determinação da quantidade total de CO<sub>2</sub> desprendido.

### 5.7. Quantificação de bactérias diazotróficas endofíticas

Para a verificação da presença de bactérias diazotróficas endofíticas do gênero *Herbaspirillum* na cultura do arroz Agulha Precoce foram retiradas dez plantas aleatoriamente de cada parcela, aos 70 DAP, na safra 2007/08. A seguir, as raízes foram lavadas procurando retirar todo o solo aderido, pesando 10 g de raiz por amostra composta, num total de nove amostras. Foram submetidas à desinfestação superficial lavando-se por 90 s em etanol 70 %, 3 min em hipoclorito de sódio a 2 % de cloro ativo (v/v) acrescido de Tween 20 (1 mL L<sup>-1</sup>), 45 s em etanol 70 %, seguido de três lavagens em água destilada esterilizada. As amostras foram trituradas em liquidificador com solução de sacarose a 4 % por 2 min. A seguir, foram feitas diluições seriadas das amostras em solução de sacarose (4 %), de 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-7</sup>, em tubos de 20 mL, tampados. Procedeu-se a contagem em meio semissólido pela inoculação de 0,1 mL de cada diluição no centro do meio semissólido (a ponteira foi afundada). Em seguida, as culturas foram incubadas a 28 °C, por um período de oito a treze dias, para a avaliação da formação de uma película característica no centro do meio. A contagem da comunidade bacteriana foi determinada pela técnica do número mais provável (NMP), utilizando-se a Tabela de McCrady para três repetições (DÖBEREINER et al., 1995).

### 5.8. Análise estatística

O efeito do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> sobre a altura de plantas, massa seca da parte aérea de plantas, massa de grãos e panículas, incidência de *M. grisea* nas sementes de arroz da variedade Shao Tiao Tsao, microbiota do solo e silício nas folhas foi avaliado pelo programa Sisvar. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Os dados de contagem de bactérias diazotróficas endofíticas foram transformados em log<sub>e</sub> antes da análise. Os dados obtidos, y = porcentagem de brusone nas plantas de arroz, foram analisados estatisticamente considerando um delineamento em blocos casualizados com r = 3 blocos, de acordo com:

- análise de variância de 42 tratamentos em esquema fatorial  $3 \times 2 \times 7$ , com  $a = 3$  tratamentos ambiente (A),  $b = 2$  cultivares (B) e  $e = 7$  épocas de avaliação (E), no ensaio 1, de acordo com o modelo:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha_i \beta_j + \alpha_i \gamma_k + \beta_j \gamma_k + \alpha_i \beta_j \gamma_k + e_{ijkl},$$

$$i = 1,2,3; \quad j = 1,2; \quad k = 1,\dots,7; \quad l = 1,\dots,7,$$

- análise de variância de 30 tratamentos em esquema fatorial  $3 \times 2 \times 5$ , com  $a = 3$  tratamentos ambiente (A),  $b = 2$  cultivares (B) e  $e = 5$  épocas de avaliação (E), no ensaio 2, de acordo com o modelo:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha_i \beta_j + \alpha_i \gamma_k + \beta_j \gamma_k + \alpha_i \beta_j \gamma_k + e_{ijkl},$$

$$i = 1,2,3; \quad j = 1,2; \quad k = 1,\dots,5; \quad l = 1,\dots,5,$$

com  $\mu$  representando uma média geral,  $\alpha_i$  referindo-se ao efeito do fator A,  $\beta_j$  ao fator B,  $\gamma_k$  ao fator E, e os demais termos às interações duplas e triplas entre os fatores. As médias de tratamentos foram comparadas por meio do teste de Tukey;

- análise de regressão com a variável independente  $E =$  épocas, estabelecendo-se curvas de resposta polinomial até quarto grau. O nível de significância para os testes foram  $\alpha = 0,05$  e as análises foram processadas através do sistema computacional SAS System – Release 9.1 e Excel.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Condições ambientais

A concentração média de CO<sub>2</sub> atmosférico do tratamento ambiente (Test) foi 459,4 e 447,4  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  na safra 2007/08 e safra 2008/09, respectivamente. Por outro lado, as concentrações médias de CO<sub>2</sub> foram 490,1 e 480,4  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  para o tratamento (Est) e 531,9 e 608,6  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  para o tratamento (Est+CO<sub>2</sub>) na safra 2007/08 e safra 2008/09, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 2.** Média da concentração de CO<sub>2</sub>, temperatura do ar e radiação solar no campo experimental durante as épocas de crescimento das plantas de arroz, nos tratamentos com (Est+CO<sub>2</sub>) e sem injeção de CO<sub>2</sub> (Est) e sem estufa (Test).

Safra	[CO <sub>2</sub> ] ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )			Temperatura (°C)			Radiação solar ( $\text{Wm}^2$ )		
	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>
2007/08	459,4	490,1	531,9	22,9	24,5	24,0	336,7	312,1	319,2
2008/09	447,4	480,4	608,6	23,9	25,6	25,7	217,4	178,8	183,6

Os tratamentos com estufa apresentaram temperatura mais elevada que a ambiente, devido ao efeito de retenção de calor provocada pelo filme de PVC, apesar dos ventiladores promoverem a circulação do ar das estufas, que minimizaram esses efeitos. Porém, praticamente não houve diferença de temperatura entre as estufas com e sem injeção

do gás, durante os períodos de ensaio, sendo a concentração de CO<sub>2</sub> a única variável alterada entre os tratamentos (Est) e (Est+CO<sub>2</sub>).

O ambiente das parcelas sem injeção apresentou concentração superior a 379  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  [média da concentração de CO<sub>2</sub> do planeta em 2005, segundo o IPCC (2007)] devido à respiração das plantas, principalmente durante o período noturno. As concentrações observadas não permaneceram constantes devido às trocas de ar das OTCs motivadas por rajadas de vento ou pelo aquecimento provocado nas horas mais quentes do dia.

As OTCs utilizadas durante os ensaios alteraram outras condições climáticas além da concentração de CO<sub>2</sub>. Em particular, a temperatura do ar, velocidade e turbulência do vento, radiação solar e umidade do ar são geralmente afetados pelas estufas (PRITCHARD e AMTHOR, 2005). No entanto, estas estruturas são utilizadas em muitos países, por apresentarem baixo custo de instalação e operação, podendo ser utilizadas em diversos locais. No Brasil, Braga et al. (2006) utilizaram estruturas semelhantes para verificar a produção de fitoalexinas em soja, mas as OTCs foram mantidas em casa-de-vegetação e as plantas foram cultivadas em vasos. O presente estudo utilizou OTCs instaladas no campo e a semeadura foi feita diretamente no solo. Dessa forma, evitou-se a restrição das raízes pelo vaso, mantendo a estrutura original do solo e atingindo condições mais próximas do agroecossistema.

## **6.2. Brusone do arroz**

A temperatura favorável à infecção da brusone do arroz encontra-se entre 15 a 35°C, e a temperatura ótima para o desenvolvimento de sintomas varia entre 20 a 26°C (KAHN e LIBBY, 1958; KIM, 1994); portanto, as temperaturas correspondentes aos tratamentos foram favoráveis ao desenvolvimento da doença (Tabela 2).

Na safra 2007/08 os efeitos principais de ambiente e cultivares e das interações duplas ambiente/cultivares, ambiente/épocas de avaliação e cultivares/épocas de avaliação, bem como as interações triplas ambiente/cultivares/épocas de avaliação (Apêndice A), sobre a severidade da brusone nas folhas de arroz são significativos. O teste Tukey mostra que para a cultivar Caloro, houve aumento médio significativo da porcentagem de brusone nas folhas no tratamento (Est+CO<sub>2</sub>) aos 63 DAP. Para as cultivares Agulha Precoce e Shao Tiao

Tsao, a injeção do gás não apresentou efeito significativo na doença. A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), na cultivar Caloro, foi afetada pela elevação do CO<sub>2</sub> atmosférico, aumentando a suscetibilidade dessa cultivar à brusone sob estas condições (Tabela 3). As regressões de  $y =$  porcentagem área foliar lesionada pela brusone em plantas de arroz sobre  $x =$  épocas de avaliação, conforme os tratamentos com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test) foram significativas para o modelo linear nos tratamentos (Est+CO<sub>2</sub>) e (Est) e para o modelo polinomial de terceiro grau no tratamento (Test), na cultivar Agulha Precoce; e para o modelo polinomial de segundo grau nas cultivares Shao Tiao Tsao e Caloro, para todos os tratamentos (Apêndice B).

**Tabela 3.** Porcentagem da área foliar lesionada pela brusone em plantas de arroz nas cultivares e nos tratamentos com (Est+CO<sub>2</sub>) e sem injeção de CO<sub>2</sub> (Est) e sem estufa (Test), durante as épocas de avaliação (dias após o plantio) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), na safra 2007/08.

Tratamento	Dias após o plantio							AACPD
	33	36	39	43	48	57	63	
----- cultivar Shao Tiao Tsao -----								
Test	0,02 a*	0,04 a	0,33 a	0,90 a	0,38 a	0,55 a	0,56 b	19,96a
Est	0,01 a	0,05 a	0,11 b	0,14 b	0,44 a	1,47 a	1,84 ab	27,71a
Est+CO <sub>2</sub>	0,02 a	0,03 a	0,18 b	0,22 ab	0,33 a	1,03 a	2,30 a	24,00a
----- cultivar Agulha Precoce -----								
Test	0,05 a	0,07 a	0,26 ab	0,51 a	0,29 a	0,31 a	0,39 b	13,15a
Est	0,04 a	0,08 a	0,18 b	0,50 a	0,48 a	0,23 a	1,17 a	15,67a
Est+CO <sub>2</sub>	0,03 a	0,07 a	0,37 a	0,10 a	0,36 a	0,61 a	0,75 ab	16,08a
----- cultivar Caloro -----								
Test	0,07 a	0,05 a	0,25 a	2,22 a	0,31 a	0,30 b	0,61 b	25,62b
Est	0,04 a	0,10 a	0,25 a	0,29 a	0,41 a	0,21 b	1,93 ab	11,40b
Est+CO <sub>2</sub>	0,04 a	0,08 a	0,77 a	2,05 a	1,65 a	1,54 a	6,04 a	72,15a

\*Letras minúsculas (colunas) comparam médias dos tratamentos com e sem injeção de CO<sub>2</sub>, em cada época de avaliação.

Para a safra 2008/09 os efeitos principais de ambiente e cultivares, e das interações duplas ambiente/cultivares, ambiente/épocas de avaliação e cultivares/épocas de avaliação, bem como as interações triplas ambiente/cultivares/épocas de avaliação (Apêndice C), sobre a severidade da brusone nas folhas de arroz são significativos. O teste Tukey mostra o aumento médio significativo da porcentagem de brusone nas folhas no tratamento (Est+CO<sub>2</sub>), em relação aos tratamentos (Test) e (Est), com a cultivar Shao Tiao Tsao, aos 36 dias após o plantio. No entanto, após esse período não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4). Na safra 2008/09, a cultivar Caloro não foi semeada por apresentar baixa porcentagem de germinação. A severidade da brusone nas folhas de plantas de arroz em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub> foi significativamente maior aos 49 e 64 DAP para a cultivar Agulha Precoce, quando comparada com a severidade nas folhas submetidas à atmosfera ambiente. Aos 49, 57 e 64 DAP a cultivar Agulha Precoce foi mais severamente afetada pela brusone do que a cultivar Shao Tiao Tsao, no tratamento com injeção de CO<sub>2</sub> (Est+CO<sub>2</sub>) (Tabela 4). Na avaliação do total acumulado da AACPD (Tabela 4), a cultivar Agulha Precoce apresentou o maior valor da AACPD, no tratamento (Est+CO<sub>2</sub>), em relação a cultivar Shao Tiao Tsao. Essa maior AACPD deve-se ao aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> do ar (Tabela 2).

**Tabela 4.** Porcentagem de área foliar lesionada pela brusone em plantas de arroz nas cultivares e nos tratamentos com e sem injeção de CO<sub>2</sub>, durante as épocas de avaliação (dias após o plantio) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), na safra 2008/09.

Tratamento	Dias após o plantio					AACPD
	36	42	49	57	64	
----- cultivar Shao Tiao Tsao -----						
Test	0,06 b*	0,09 a	0,12 a	0,28 a	0,19 a	6,11ab
Est	0,02 b	0,10 a	0,13 a	0,19 aB	0,15 a	5,09b
Est+CO <sub>2</sub>	0,14 a	0,20 a	0,11 aB**	0,22 aB	0,20 aB	7,17a
----- cultivar Agulha Precoce -----						
Test	0,07 a	0,13 a	0,17 b	0,44 ab	0,29 b	9,31a
Est	0,08 a	0,16 a	0,24 b	0,39 bA	0,19 b	9,60a
Est+CO <sub>2</sub>	0,06 a	0,12 a	0,86 aA	0,84 aA	0,42 aA	22,04b

\*Letras minúsculas (colunas) comparam médias de cultivares em cada ambiente e em cada época de avaliação.

\*\*Letras maiúsculas (colunas) comparam médias de cultivares em cada tratamento e em cada época de avaliação.

As regressões de  $y$  = porcentagem área foliar lesionada pela brusone em plantas de arroz e  $x$  = épocas de avaliação, conforme os tratamentos com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test) foram significativas para o modelo polinomial de segundo grau, para todos os tratamentos da cultivar Shao Tiao Tsao; para o modelo linear no tratamento (Test) e para o modelo polinomial de segundo grau nos tratamentos (Est+CO<sub>2</sub>) e (Est), na cultivar Agulha Precoce (Apêndice D).

Observou-se que as plantas cultivadas em ambiente com CO<sub>2</sub> atmosférico elevado foram mais severamente infectadas pela brusone do que as plantas cultivadas em CO<sub>2</sub> ambiente, na cultivar Caloro (safra 2007/08) e na cultivar Agulha Precoce (safra 2008/09). É provável que a injeção de CO<sub>2</sub> afete de maneira diferente as cultivares de uma mesma cultura. Este resultado pode ocorrer devido às mudanças que ocorrem na fisiologia das plantas de arroz. Segundo Chakraborty et al. (1998), estudos realizados nos últimos anos sugerem que a maioria dos possíveis impactos ambientais da elevação do CO<sub>2</sub> atmosférico sobre as doenças de plantas podem ser mediados por mudanças na fisiologia e morfologia do hospedeiro.

Kobayashi et al. (2006), ao estudar o efeito o aumento de CO<sub>2</sub> sobre a brusone do arroz, verificaram que plantas crescidas nesse ambiente foram mais severamente infectadas pela doença do que as plantas cultivadas em ambiente sem a adição do gás. Porém, esse estudo foi conduzido por três anos, e em 1999 não foram observadas diferenças com o incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico. Os autores sugerem que estas diferenças na severidade podem ser atribuídas às condições mais favoráveis de infecção durante os anos de 1998 e 2000. Os resultados encontrados na safra 2007/08 e 2008/09, para as cultivares Caloro e Agulha Precoce, respectivamente, corroboram com os relatados por Kobayashi et al. (2006).

Malavolta et al. (2009), estudando a variabilidade patogênica do fungo *M. grisea* no Estado de São Paulo, verificaram que a resistência da cultivar Shao Tiao Tsao foi suplantada pela maioria dos isolados (90,1 % de reações suscetíveis), inclusive pela Caloro (53,5 %). Esses resultados assemelham-se aos obtidos nesse trabalho que apresentaram a suscetibilidade das cultivares Caloro e Shao Tiao Tsao durante o período dos ensaios (Tabelas 3 e 4).

Soave et al. (1985) realizaram a identificação de progênies de arroz resistentes à brusone no Estado de São Paulo e utilizaram a cultivar Agulha Precoce como controle suscetível, por apresentar características de alta suscetibilidade ao fungo *M. grisea*. No caso dos experimentos conduzidos nesse trabalho, a cultivar que apresentou maior suscetibilidade à brusone foi a Caloro, seguida da Shao Tiao Tsao e da Agulha Precoce, com valores de AACPD de 72,15; 24,00 e 16,08, respectivamente, no tratamento (Est+CO<sub>2</sub>), na safra 2007/08 (Tabela 3). Na safra 2008/09, a cultivar que apresentou maior suscetibilidade à brusone foi a Agulha Precoce, seguida da Shao Tiao Tsao, com valores de AACPD de 22,04 e 7,17, respectivamente, no tratamento (Est+CO<sub>2</sub>) (Tabela 4).

A avaliação da área abaixo da curva da incidência da brusone (AACID) nos perfilhos apresentou C.V. (%) de 75,47, o que é considerado muito alto, por isso não se pode afirmar se o CO<sub>2</sub> em alta concentração alterou a suscetibilidade da cultivar Shao Tiao Tsao (Tabela 5). A utilização de OTCs pode influir na interceptação da luz e precipitação, modificar a estrutura da parte aérea da planta e, conseqüentemente, o microclima, o que influencia os componentes epidemiológicos da doença (GHINI, 2005).

**Tabela 5.** Área abaixo da curva de progresso da incidência da brusone (AACID) em perfilhos de plantas de arroz cv. Shao Tiao Tsao, cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test), na safra 2007/08.

Cultivar	Tratamento			C.V. (%)	DMS
	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>		
Shao Tiao Tsao	163,52b	791,46a	667,45a	75,47	362,84

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p ≤ 0,05).

A incidência do fungo *M. grisea* na safra 2007/08 nas sementes de arroz foi de 11,3 % e 8,3 % para os tratamentos (Est) e (Est+CO<sub>2</sub>), respectivamente, diferindo estatisticamente em relação à (Test), com incidência de 0,8 %. Na safra 2008/09, a injeção do gás não alterou a ocorrência dos principais fungos do arroz. No entanto, as sementes de arroz apresentaram a tendência de aumento na incidência de *M. grisea* com a elevação da concentração de CO<sub>2</sub> do ar (Tabela 6).

**Tabela 6.** Incidência dos principais fungos de sementes de arroz, em porcentagem, detectados através do teste do papel de filtro com congelamento, safra 2007/08 e safra 2008/09.

Tratamento	Fungos					
	<i>Magnaporthe grisea</i>	<i>Bipolaris oryzae</i>	<i>Phoma sorghina</i>	<i>Microdochium oryzae</i>	<i>Drechslera</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.
----- Safra 2007/08 -----						
Test	0,8a *	5,0a	7,7a	0,2a	19,8b	14,0b
Est	11,3b	2,0a	4,7a	0,5a	4,8a	1,3 a
Est + CO <sub>2</sub>	8,3ab	1,2a	2,8a	1,5a	6,3a	4,2 a
Média	6,8	2,7	5,1	0,7	10,3	6,5
----- Safra 2008/09 -----						
Test	0,3a	3,0a	37,7a	2,3a	18,7a	8,0a
Est	0a	0,3a	6,3a	8,7a	19,3a	3,0a
Est + CO <sub>2</sub>	2,7a	3,7a	8,3a	5,0a	11,3a	4,3a
Média	1,0	2,3	17,4	5,3	16,4	5,1

\*Médias seguidas da mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados são os primeiros obtidos no País e mostram o efeito da elevação da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico sobre a principal doença do arroz, a brusone. Os dados de 2007/08 e 2008/09 para as cultivares Caloro e Agulha Precoce comprovam que a elevação desse gás pode alterar a ocorrência da doença se as concentrações do CO<sub>2</sub> continuarem aumentando, como vem sendo observado ao longo dos anos.

### 6.3. Altura de plantas de arroz

O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> não resultou no aumento da altura das cultivares Agulha Precoce, Shao Tiao Tsao e Caloro, na safra 2007/08 (Tabela 7).

**Tabela 7.** Média da altura de plantas de arroz, em cm, cultivadas sem estufa (Test) e em estufas de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) e sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub>, na safra 2007/08.

27 DAP			36 DAP			57 DAP			C.V.(%)	DMS
Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>		
----- <b>Agulha Precoce</b> -----										
26,1b*	29,1ab	30,3a	33,4b	39,1ab	40,8a	69,0b	88,6a	91,4a	14,51	3,68
----- <b>Shao Tiao Tsao</b> -----										
31,2b	36,1a	30,2b	39,1a	42,2a	39,5a	68,9b	86,5a	81,3a	12,23	3,54
----- <b>Caloro</b> -----										
24,0b	32,6a	31,0a	30,0a	33,4a	30,2a	52,9b	62,9a	63,1a	15,48	4,03

\* Médias seguidas por mesma letra minúscula, dentro de cada linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Na safra 2008/09, a altura de plantas de arroz em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub> foi significativamente maior aos 49 e 64 DAP para a cultivar Agulha Precoce, quando comparada com a altura das plantas submetidas à atmosfera ambiente. O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> resultou no aumento da altura da cultivar Shao Tiao Tsao aos 36 e 64 DAP (Tabela 8).

**Tabela 8.** Média da altura de plantas de arroz, em cm, cultivadas sem estufa (Test) e em estufas de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) e sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub>, na safra 2008/09.

36 DAP			49 DAP			64 DAP			C.V. (%)	DMS
Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>		
----- <b>Agulha Precoce</b> -----										
29,5a*	43,8b	47,8b	53,0a	73,2b	81,2c	69,9a	91,7b	104,1c	24,88	6,18
----- <b>Shao Tiao Tsao</b> -----										
34,2a	43,1b	53,7c	55,5a	79,1b	79,1b	71,1a	85,7b	101,1c	21,70	5,84

\* Médias seguidas por mesma letra minúscula, dentro de cada linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

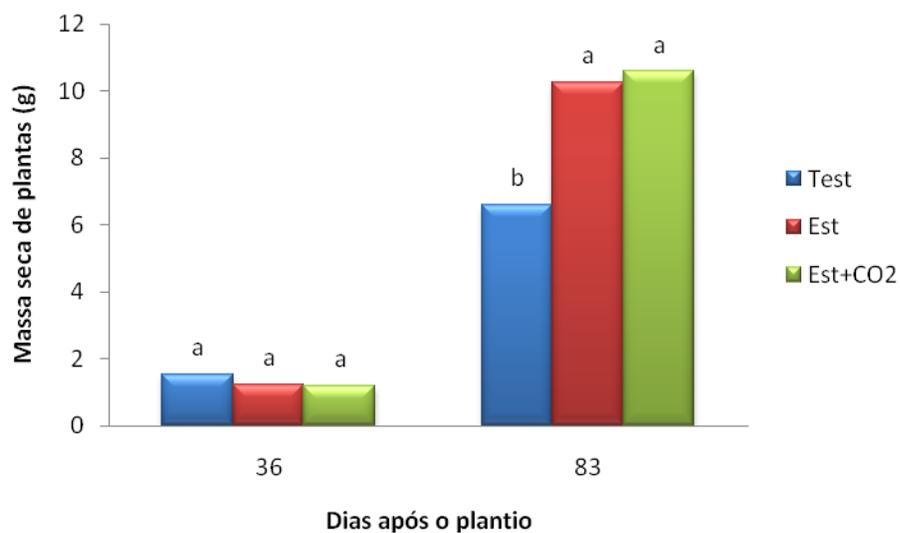
Os resultados obtidos na safra 2008/09 mostraram a influência significativa da maior concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico sobre o crescimento das plantas de arroz. Diversos estudos têm evidenciado os impactos da elevação de CO<sub>2</sub> sobre o crescimento

de arroz durante as últimas décadas (YOSHIDA, 1973; IMAI et al., 1985; BAKER et al., 1992; ZISKA et al., 1996; HORIE et al., 2000; KIM et al., 2003; BAKER, 2004; SAKAI et al., 2006; YANG et al., 2006; SASAKI et al., 2007). No entanto, estes estudos dão mais evidência ao aumento da massa seca das plantas e não demonstram com exatidão o mecanismo pelo qual pode-se observar o aumento da altura das plantas em ambiente com enriquecimento de CO<sub>2</sub>.

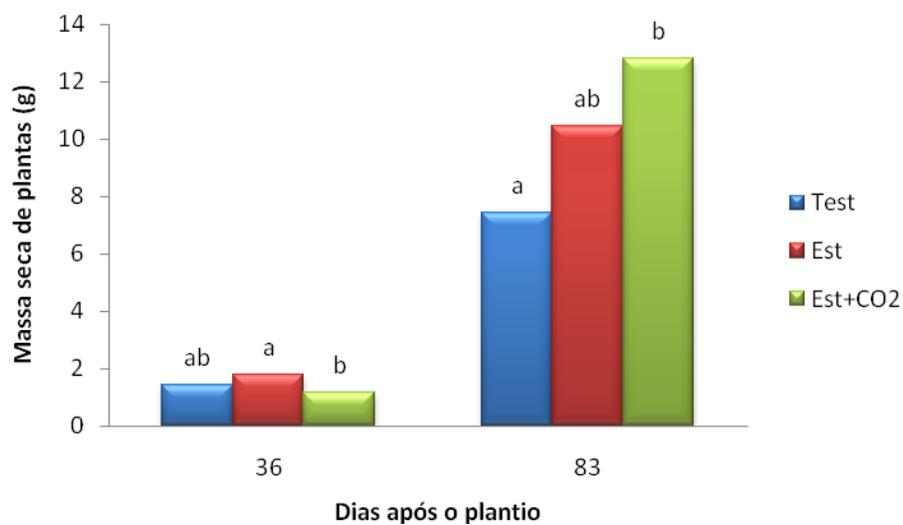
Plantas de arroz tiveram um aumento no número de perfilhos em resposta ao aumento de CO<sub>2</sub> em ambiente controlado, e uma maior área foliar por planta com pequenas mudanças na área individual das folhas (IMAI et al., 1985). Cheng et al. (2009), ao estudar o efeito da alta concentração de CO<sub>2</sub> em ambiente controlado sobre o crescimento do arroz, verificaram aumento significativo da altura das plantas submetidas ao CO<sub>2</sub> elevado quando comparada com CO<sub>2</sub> ambiente. No geral, esses autores encontraram resultados semelhantes de altura em relação aos encontrados na safra 2008/09.

#### **6.4. Massa das plantas secas**

Na safra 2007/08, a massa da parte aérea das plantas de arroz da cv. Agulha Precoce na testemunha foi significativamente menor do que nas OTCs aos 83 dias após o plantio (Figura 3). A injeção de CO<sub>2</sub> não estimulou o aumento da massa seca da parte aérea das plantas da cv. Shao Tiao Tsao durante o período de avaliação da safra 2007/08 (Figura 4).

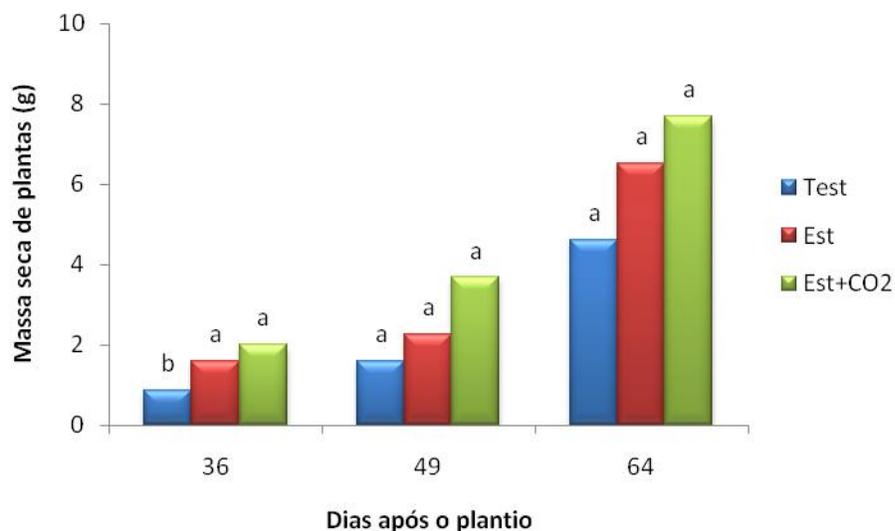


**Figura 3.** Massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Agulha Precoce cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test), 36 e 83 dias após o plantio, na safra 2007/08. C.V. (%) = 31,31; DMS= 1,19.



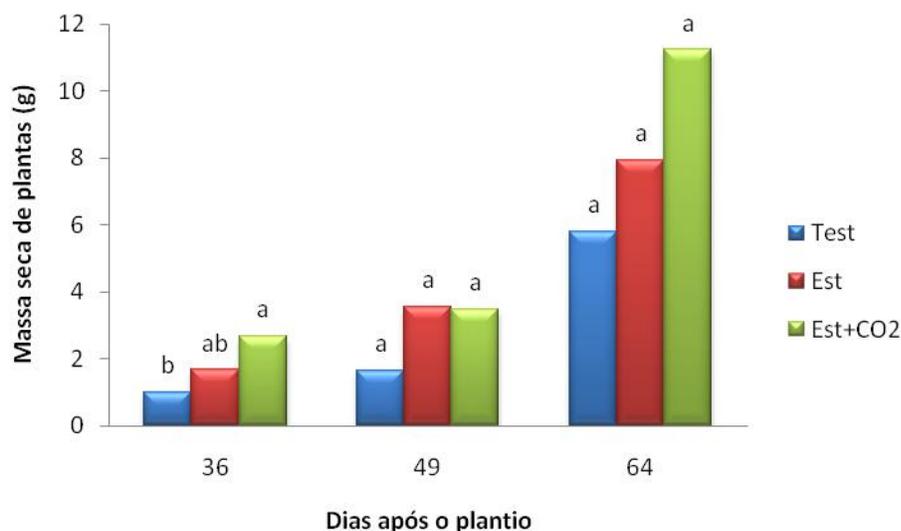
**Figura 4.** Massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Shao Tiao Tsao cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test), 36 e 83 dias após o plantio, na safra 2007/08. C.V. (%) = 18,73; DMS= 0,62.

Na safra 2007/08, as plantas da cv. Agulha Precoce crescidas em ambiente com CO<sub>2</sub> enriquecido apresentaram a tendência de aumento da massa seca da parte aérea em todas as épocas de avaliação. De modo geral, o desenvolvimento das plantas nas OTCs se sobrepôs à testemunha durante o período de cultivo (Figura 5).



**Figura 5.** Massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Agulha Precoce cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test), 36, 49 e 64 dias após o plantio, na safra 2008/09. C.V. (%) = 10,54; DMS= 0,46.

A massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Shao Tiao Tsao não apresentou diferença significativa entre os tratamentos com e sem injeção de CO<sub>2</sub> (Figura 6). As temperaturas médias dos tratamentos com estufa (Est) e (Est+CO<sub>2</sub>) foram 25,6 e 25,7 °C, respectivamente, na safra 2008/09, o que pode ter afetado o crescimento das plantas em relação à (Test) (23,9 °C).



**Figura 6.** Massa seca da parte aérea das plantas de arroz da cv. Shao Tiao Tsao cultivadas em estufas de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test), 36, 49 e 64 dias após o plantio, na safra 2008/09. C.V. (%) = 24,27; DMS= 1,2.

A produção de massa seca em arroz é determinada pelo balanço entre a taxa de fotossíntese e a respiração noturna (YAMAGISHI, 1994; SAKAI et al., 2001). Estudos preliminares mostram que a elevação de CO<sub>2</sub> aumenta a fotossíntese e a produção de biomassa, enquanto altas temperaturas aumentam a respiração, reduzindo a produção de biomassa (SAKAI et al., 2001; PENG et al., 2004). Cheng et al. (2009), em experimento realizado com o enriquecimento de CO<sub>2</sub> (680  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) e sem (380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) em arroz, com dois níveis de temperatura noturna (22 e 32 °C), verificaram aumento da massa seca da planta inteira e da massa seca de perfilhos pelo aumento de CO<sub>2</sub> e temperatura noturna elevada. No entanto, os autores relataram que a massa seca de plantas aumentou significativamente com o CO<sub>2</sub> elevado e diminuiu com a alta temperatura noturna.

Em relação à massa da parte aérea das plantas de arroz, o tratamento com maior concentração de CO<sub>2</sub> não apresentou comportamento similar aos obtidos por Cheng et al. (2009), isto é, a injeção do gás não promoveu o incremento da massa seca das plantas. No entanto, a interação entre o CO<sub>2</sub> e a massa seca das plantas de arroz pode ter sido afetada pela severidade da brusone nas diferentes cultivares, durante os períodos de avaliação.

Devido à dificuldade de medição das taxas de respiração sob condições de elevação da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, os efeitos diretos da injeção do gás sob a massa seca das plantas ainda é debatido (BAKER et al., 2000; JAHNKE e KREWITT, 2002), mas é aceito amplamente que o aumento nas taxas de CO<sub>2</sub> pode afetar de maneira diferente a respiração nas diversas partes da planta, aumentando ou diminuindo a massa seca da parte aérea (BAKER et al., 2000; SAKAI et al., 2006).

### 6.5. Massa de panículas e massa de grãos

Nas safras 2007/08 e 2008/09, a massa de panículas não apresentou diferença significativa entre os tratamentos com e sem injeção de CO<sub>2</sub> (Tabelas 9 e 10). A massa de grãos não apresentou diferença significativa na safra 2007/08, com a elevação do CO<sub>2</sub> atmosférico. Na safra 2008/09, a massa de grãos reduziu com o aumento da concentração do gás, diferindo significativamente de (Est) e de (Test) (Tabela 10).

**Tabela 9.** Massa seca de panículas e massa de grãos de duas cultivares de arroz cultivadas em estufa de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test), na safra 2007/08.

Cultivares	Tratamento					
	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>
	--- Massa de panículas (g) ---			---- Massa de grãos (g) ----		
Agulha Precoce	3,19b	7,73a	6,76b	0,36a	0,67b	0,78b
Shao Tiao Tsao	5,27a	4,57a	5,93a	0,70a	0,56a	0,67a
Agulha Precoce	C.V. (%) = 25,47 DMS = 4,37			C.V. (%) = 14,07 DMS = 0,25		
Shao Tiao Tsao	C.V. (%) = 16,22 DMS = 1,94			C.V. (%) = 22,94 DMS = 0,33		

\* Médias seguidas por mesma letra minúscula, dentro de cada linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 10.** Massa seca de panículas e massa de grãos de arroz da cv. Agulha Precoce cultivada em estufa de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test), na safra 2008/09.

Atributo	Tratamento			C.V. (%)	DMS
	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>		
Massa de panículas (g)	10,4a	9,2a	12,1a	31,9	8,5
Massa de grãos (g)	1,4a	1,5a	0,9b	32,8	0,5

\* Médias seguidas por mesma letra minúscula, dentro de cada linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O efeito conjunto do CO<sub>2</sub> com a temperatura e outras variáveis ambientais, como o nível de nutrientes disponíveis no solo, podem interferir na resposta da planta ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub>. Diversos estudos mostraram que o aumento da temperatura pode reduzir a massa de grãos até mesmo sob níveis de CO<sub>2</sub> elevado (BAKER et al., 1992; ZISKA et al., 1996; MATSUI et al., 1997; HORIE et al., 2000, PRASAD et al., 2006), ao mesmo tempo que aumentam a esterilidade das espiguetas (SATAKE e YOSHIDA, 1978; KIM et al., 1996; MATSUI et al., 1997; OHE et al., 2007; JAGADISH et al., 2007).

Baker (2004), ao estudar o efeito da elevação de CO<sub>2</sub> (700  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) sob diferentes regimes de temperatura (24, 28, 32, 36 e 40 °C) constatou que não houve aumento significativo sob a massa de grãos com a injeção de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, o estudo de dois anos realizado em FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment) mostrou que a elevação da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou significativamente a produtividade do arroz (KIM et al., 2003; YANG et al., 2006; SHIMONO et al., 2008). Os autores também relatam que a taxa de aumento da produtividade varia de acordo com as diferentes cultivares avaliadas, alcançando valores de 0 a 23% de aumento de produtividade.

## 6.5. Silício na planta

As folhas de arroz expostas ao CO<sub>2</sub> elevado apresentaram uma tendência de diminuição da porcentagem de Si com aumento do CO<sub>2</sub> do ar (Tabela 11). Vários estudos têm mostrado que a elevação de CO<sub>2</sub> atmosférico reduz a condutância estomatal das

plantas e a taxa de transpiração (PALLAS, 1965; WOODWARD, 1987; SCHONFELD et al. 1989; JONES, 1991). Segundo Kobayashi et al. (2006), o mecanismo de retirada de Si do solo pelas raízes de arroz é uma atividade associada com o consumo de energia, sendo o transporte de Si das raízes para as folhas regulado pela taxa de transpiração, um transporte passivo. O declínio das taxas de transpiração em CO<sub>2</sub> elevado pode diminuir o transporte de Si para as folhas e, desta forma, diminuir o acúmulo de Si na planta. A redução do conteúdo de Si nas folhas pode predispor as plantas de arroz à infecção por *M. grisea*, pois o Si está geralmente associado à resistência a brusone.

**Tabela 11.** Porcentagem de silício nas folhas de arroz da cv. Agulha Precoce cultivada em estufa de topo aberto com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test), na safra 2007/08 e safra 2008/09.

Safra	Tratamentos		
	Test	Est	Est+CO <sub>2</sub>
	----- Silício na planta (%) -----		
2007/08	2,5	2,1	2,1
2008/09	4,4	4,7	3,5

O presente trabalho mostrou que a elevação do CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou o desenvolvimento da brusone nas folhas de arroz, nas cultivares Caloro e Agulha Precoce. Dessa forma, o risco do aumento da doença cresce sob condições de CO<sub>2</sub> elevado. O declínio da porcentagem de Si em plantas de arroz submetidas ao CO<sub>2</sub> elevado pode aumentar a suscetibilidade à brusone. O crescimento da cultura responde positivamente à elevação do gás, porém o aumento do risco da exposição das plantas às doenças deve ser considerado para prever os impactos que o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico pode acarretar na produção da cultura no futuro.

## 6.6. Rizosfera do arroz

Os resultados obtidos nas safras 2007/08 e 2008/09 mostraram que a alta concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico não exerceu influência significativa sobre a

caracterização química e microbiológica da rizosfera de plantas de arroz e a ocorrência de bactérias diazotróficas endofíticas (*Herbaspirillum*) nas raízes das plantas. Na safra 2007/08, a condutividade elétrica de (Est) diferiu significativamente de (Test), porém não diferiu de (Est+CO<sub>2</sub>). O tratamento (Est+CO<sub>2</sub>) apresentou diferença significativa em relação à (Est). No entanto não houve diferença em relação à (Test). Na safra 2008/09 somente o pH de (Est+CO<sub>2</sub>) diferiu dos demais tratamentos; os outros atributos permaneceram inalterados (Tabela 12).

**Tabela 12.** Efeito do aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico sobre características químicas e microbiológicas do solo rizosférico do arroz em ensaio conduzido em estufas de topo aberto, nas safras 2007/08 e 2008/09.

Atributo	2007/08			2008/09		
	Test	Est	Est + CO <sub>2</sub>	Test	Est	Est + CO <sub>2</sub>
pH ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	6,8a	6,8a	6,8a	7,0a	7,0a	6,9b
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	30,9b	38,1a	34,5ab	32,8a	32,5a	31,6a
Desprendimento de CO <sub>2</sub> ( $\text{mgCO}_2 100\text{g}^{-1}$ )	48,1ab	58,5a	41,8b	28,9a	27,4a	30,4a
Hidrólise de FDA ( $\mu\text{FDA g}$ $\text{solo}^{-1} \text{min}^{-1}$ )	1,7a	1,8a	1,8a	0,7b	1,0a	1,0a
<i>Herbaspirillum</i> sp (n°)	562,7a <sup>a</sup>	189,7a	3366,1a	-	-	-

\* médias seguidas por mesma letra, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ); <sup>a</sup> Para a análise estatística, os dados transformados em  $\log_{10}$ .

Poucos estudos têm sido realizados com a caracterização química e microbiológica da rizosfera de plantas sob altas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico. Isto se deve principalmente à dificuldade de obtenção de dados concisos. O efeito direto da elevação da concentração de CO<sub>2</sub> na microbiota do solo é improvável nesse ambiente onde estão comumente expostas a níveis 10 a 15 vezes maiores do que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico (COAKLEY e SCHERM, 1996). Esses autores ainda afirmam que as mudanças climáticas podem alterar a composição e a dinâmica da comunidade microbiana do solo, influenciando a ocorrência de doenças de plantas. Entretanto, deve-se considerar que as mudanças no clima envolvem aspectos fundamentais do solo para a atividade microbiana,

como a redução na umidade do solo, o aumento na temperatura e a disponibilidade de nutrientes. Ronn et al. (2003) concluíram que a exposição de plantas de trigo à concentração de  $700 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  atmosférico não alterou a comunidade de bactérias do solo e a taxa de respiração do solo próximo às raízes também não foi afetada. Esses resultados assemelham-se aos resultados obtidos nesse trabalho que não apresentaram alterações na comunidade bacteriana do solo e na taxa de respiração do solo.

Apesar dos trabalhos disponíveis na literatura relatando os efeitos do  $\text{CO}_2$  atmosférico sobre o crescimento de plantas (YOSHIDA, 1973; IMAI et al., 1985; BAKER et al., 1992; ZISKA et al., 1996; HORIE et al., 2000; KIM et al., 2003; BAKER, 2004; SAKAI et al., 2006; YANG et al., 2006; SASAKI et al., 2007) e a importância do arroz (ANGLADETTE, 1969), poucos fazem referência às alterações que as mudanças climáticas podem ocasionar em relação à brusone. Desde a percepção de que o  $\text{CO}_2$  atmosférico está aumentando, muitos trabalhos têm evidenciado o efeito do crescimento e comportamento de espécies de plantas devido a esse fator, combinando-se a essa mudança diferentes fatores climáticos, como a temperatura, umidade e incidência de raios ultravioleta (PALLAS, 1965; SATAKE e YOSHIDA, 1978; WOODWARD, 1987; SCHONFELD et al. 1989; JONES, 1991; KIM et al., 1996; MATSUI et al., 1997; JAGADISH et al., 2007; OHE et al., 2007).

Muitos resultados não permitem diferenciar os fatores climáticos que interferem na resposta da planta à brusone do arroz. Isso em parte deve-se à dificuldade sobre as supostas mudanças morfológicas e fisiológicas que podem ocorrer e afetar as interações patógeno-hospedeiro, incluindo a redução na densidade de estômatos, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, maior camada de ceras e de células epidermais, com aumento no teor de fibras, produção de papilas, acúmulo de silício e aumento do número de células do mesófilo (CHAKRABORTY et al., 2000a). A elevação da concentração de  $\text{CO}_2$  também pode alterar o início e a duração dos estádios de desenvolvimento do patógeno (CHAKRABORTY, 2001).

No que diz respeito à elevação do  $\text{CO}_2$  atmosférico sobre a brusone do arroz, ficou evidente pelos experimentos conduzidos nessa pesquisa que a injeção do  $\text{CO}_2$  contribuiu para o aumento da doença nas cultivares Caloro e Agulha Precoce, nas safras 2007/08 e 2008/09, respectivamente. Esse fato pode estar relacionado ao declínio da porcentagem de Si nas plantas de arroz submetidas ao  $\text{CO}_2$  elevado, que pode aumentar a suscetibilidade à brusone (KOBAYASHI et al., 2006). No entanto, novos estudos devem ser

realizados com o objetivo de se avaliar o comportamento do metabolismo das plantas de arroz sobre as condições de injeção de CO<sub>2</sub> atmosférico e o comportamento *in situ* do fungo *M. grisea*, sob estas mesmas condições.

## 7. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzido este trabalho, pode-se concluir que:

- O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumenta a severidade da brusone do arroz nas cultivares Caloro e Agulha Precoce;
- A altura de plantas de arroz da cultivar Agulha Precoce é maior em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub>;
- A elevação do CO<sub>2</sub> atmosférico não influencia a massa seca da parte aérea de plantas, massa de grãos, massa de panículas e incidência de fungos nas sementes de arroz;
- A alta concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico não exerce influência significativa sobre características químicas e microbiológicas da rizosfera de plantas de arroz e a ocorrência de bactérias diazotróficas endofíticas nas raízes das plantas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESHIN, N. E. et al. Role of silicon in resistance of rice to blast. **Doklady Biochemistry**, New York, v.291, n.2, p.217-219, 1987.

ANGLADETTE, A. **El arroz**. Barcelona: Editorial Blume, 1969. 867p.

ASSAD, E.; PINTO, H.S. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. 2008. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/aquecimento\\_agricola.html](http://www.cpa.unicamp.br/aquecimento_agricola.html)>. Acesso em 10/09/09 .

BALASTRA, M. L. F. et al. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hult. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, p.2356-2363, 1989.

BALDANI, J. I. et al. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.911-922, 1997.

BAKER, J. T., ALLEN JR., L. H., BOOTE, K. J. Temperature effects on rice at elevated CO<sub>2</sub> concentration. **Journal of Experimental Botany**, v.43, p. 959–964, 1992.

BAKER, J. T. et al. Direct effects of atmospheric carbon dioxide concentration on whole canopy dark respiration of rice. **Global Change Biology**, p. 275–286, 2000.

BAKER, J.T. Yield responses of southern US rice cultivars to CO<sub>2</sub> and temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 122, p. 129–137, 2004.

BOEHM, M. J., HOITINK, H. A. J. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v.82, n.3, p.259-264, 1992.

BRAGA, M. R. et al. Effects of elevated CO<sub>2</sub> 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.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley e Sons, 1990. 532p.

CANADELL, J. G. et al. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.104, p.1866-1887, 2007.

CHAKRABORTY, S. Effects of climate change. In: WALLER, J. M. L.; WALLER, S. J. (Ed.). **Plant pathologist's pocketbook**. Wallingford: CAB International, 2001, p. 203-207.

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

CHAKRABORTY, S. et al. Production and dispersal of *Colletotrichum gloesporioides* spores on *Stilosanthes scabra* under elevated CO<sub>2</sub>. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 381-387, 2000b.

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

CHENG, W. et al. Interactions of elevated [CO<sub>2</sub>] and night temperature on rice growth and yield. **Agricultural and forest meteorology**. Ibaraki, Japan, 49. ed., p. 51-58, 2009.

COAKLEY, S. M.; SCHERM, H. Plant disease in a changing global environment. **Aspects of Applied Biology**, v. 45, p. 227-238, 1996.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2007/2008, **Quarto Levantamento**, 31 p., 2008.

CONWAY, T. J. et al. Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory Global Air Sampling Network. **Journal of Geophysical Research**, 99 p., 1994.

COTRUFO, M. F.; GORISSEN, A. Elevated CO<sub>2</sub> enhances below ground C allocation in three perennial grass species at different levels of N availability. **New Phytologist**, v. 137, p. 421–431, 1997.

COTRUFO, M. F. et al. Elevated CO<sub>2</sub> affects field decomposition rate and palatability of tree leaf litter: importance of changes in substrate quality. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 30, p.1565–1571, 1998.

CRITCHFIELD, H. J. **General climatology**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1960. 465p.

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

DATNOFF, L. E. et al. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, St. Paul, v.75, p.729-732, 1991.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H., DEREN, C. W. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and on rice yields. **Plant Disease**, St. Paul, v.76, p.1182-1184, 1992.

DHILLION, S. S.; ROY, J.; ABRAMS, M. Assessing the impact of elevated CO<sub>2</sub> on soil microbial activity in a Mediterranean model ecosystem. **Plant and Soil**, v. 187, p. 333–342, 1996.

DIAZ, S. et al. Evidence of a feedback mechanism limiting plant response to elevated carbon dioxide. **Nature**, v. 364, p. 616–617, 1993.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas**. Brasília: EMBRAPA- SPI: Itaguaí, RJ: EMBRAPA-CNPAB, 1995. 60 p.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave - induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, p. 1118-1119, 1991.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v.91, n. 1, p. 11-17, 1994.

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

GHINI, R.; MENDES, M. D. L.; BETTIOL, W. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador da atividade microbiana do solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 239-242, 1998.

GRISI, B. M. Método químico da medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, v. 30, n.1, p. 82-88, 1978.

HARTMAN, D. **Global Physical Climatology**. San Diego: Academic Press, 1994. 411 p.

HIBBERD, J. M.; WHITBREAD, R.; FARRAR, J. F. Effect of 700  $\mu\text{mol mol}^{-1}$   $\text{CO}_2$  and infection with powdery mildew on the growth and carbon partitioning of barley. **New Phytologist**, v. 134, p. 309-315, 1996.

HODGE, A. et al. Characterisation and microbial utilisation of exudate material from the rhizosphere of *Lolium perenne* grown under  $\text{CO}_2$  enrichment. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1033–1043, 1998.

HORIE, T. et al. Crop ecosystem responses to climate change: rice. In: REDDY, K.R., HODGES, H.F. (Eds.), **Climate Change and Global Crop Productivity**. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, p. 81–106, 2000.

IMAI, K.; CLEMAN, D. F.; YANAGISAWA, T. Increase in atmospheric partial pressures of carbon dioxide and growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Crop Science**, Japan, v.54, p. 413-418, 1985.

IMAIZUMI, K.; YOSHIDA, S. Edaphological studies on silicon applying power of paddy soils. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences**, Ibaraki, v.8, p.261-304, 1958.

INBAR, Y.; BOEHM, M. J.; HOITINK, H. A. J. Hidrolysis of fluorescein diacetate in sphagnum peat container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Soil Biology & Biochemistry**, Exeter, v. 23, p 479-483, 1991.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 4th Assessment – **Working Group I, II and III – Report for Policy Makers**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2007. 1000 p.

IRIGON, D.L.; MELLO, V.D.C. **Curso de tecnologia de sementes**. Módulo 4, análise de sementes. Brasília: ABEAS, v. 1, p. 59-60, 1992.

JAGADISH, S.V.K., CRAUFURD, P.Q., WHEELER, T.R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 1627–1635, 2007.

JAHNKE, S.; KREWITT, M. Atmospheric CO<sub>2</sub>-concentration may directly affect leaf respiration measurement in tobacco, but not respiration itself. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 641–651, 2002.

JONES, J. B. Kjeldahl method for nitrogen determination. **Micro-Macro Publishing**. Athens. GA. 1991.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.107-149, 1967.

JWA, N. S.; WALLING, L. L. Influence of elevated CO<sub>2</sub> concentration on disease development in tomato. **New Phytologist**, v. 149, n. 3, p. 509-518, 2001.

KAHN, R. P.; LIBBY, J. L. The effect of environmental factors and plant age on the infection of rice by the blast fungus, *Pyricularia oryzae*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 48, n.1, p. 25-30, Jan. 1958.

KIM, C. K. Blast management in high input, high yield potential, temperate rice ecosystems. In: ZEIGLER, R. S.; LEONG, S. A.; TENG, P. S. (Ed.) **Rice blast disease**. Wallingford: CAB International, p. 451-464, 1994.

KIM, H. Y. et al. Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration and high temperature on growth and yield of rice. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 65, p. 644–651, 1996.

KIM, H.Y. et al. Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment and nitrogen supply on the yield of temperate paddy rice crops. **Field Crops Research**, v. 83, p. 261–270, 2003.

KOBAYASHI, T.; ISHIGURO, K.; NAKAJIMA, T. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on the infection of rice blast and sheath blight. **Phytopathology**, v. 96, n. 4, p. 425-431, 2006.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa. v. 23, n.1, p.101-106, 1999.

LADHA, J.K. et al. Nitrogen-fixing (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-reducing) activity and plant growth characters of 16 wetland rice varieties. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.33, p.187-200, 1987.

LIAN, S. Silica fertilization of rice. In: Food and fertilizer technology center. **The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice**. Taiwan, p.197-220, 1976.

LUO, Y. et al. Simulation studies on risk analysis of rice leaf blast epidemics associated with global climate change in several Asian countries. **Journal of Biogeography**, v.22, p.673-678, 1995.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, V. M. A.; CARQUEIJO, A. P.; MENDES, L. Variabilidade patogênica do fungo *Pyricularia grisea* no Estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, v.35, n.1, p.49-52, 2009.

- MANNING, W. J.; TIEDEMANN, A. V. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. **Environmental Pollution**, v.88, p.219-245, 1995.
- MATSUI, T. et al. Effects of high temperature and CO<sub>2</sub> concentration on spikelet sterility in indica rice. **Field Crops Research**, v. 51, p. 213–219, 1997.
- MEEHL, G. A. et al. Global Climate Projections. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 2007.
- NEERGAARD, P. **Seed pathology**. London : Macmillan, 1977. 2v.
- NIKLAUS, P. A.; KÖRNER, C. Responses of soil microbiota of a late successional alpine grassland to long term CO<sub>2</sub> enrichment. **Plant and Soil**, v. 184, p. 219–229, 1996.
- NOTTEGHEM, J. L. Cooperative experiment on horizontal resistance to rice blast. In: International rice research institute (Los Baños, Filipinas). **Blast and upland rice: report and recommendations from the meeting for international collaboration in upland rice improvement**. Los Baños, p. 43-51, 1981.
- OHE, I., SAITOH, K., KURODA, T. Effects of high temperature on growth, yield and dry-matter production of rice grown in the paddy field. **Plant Production Science**, v. 10, p. 412–422, 2007.
- O'NEILL, E. G.; LUXMOORE, R. J.; NORBY, R. J. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> effects on seedling growth, nutrient uptake, and rhizosphere bacterial populations on *Liriodendron tulipifera* L. **Plant and Soil**, v. 104, p. 3–11, 1987.
- OSUNA-CANIZALES, F.J.; DeDATTA, S.K; BONMAN, J.M. Nitrogen form and silicon nutrition effects on resistance to blast disease of rice. **Plant and Soil**, The Hague, v.135, p.223-231, 1991.

PALLAS, J. E. Jr. Transpiration and stomatal opening with changes in carbon dioxide content of the air. **Science**. ed. 147, p. 171-173, 1965.

PATTERSON, D. T. et al. Weeds, insects, and diseases. **Climatic Change**, v. 43, n.4, p. 711-727, 1999.

PENG, S. et al. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, p. 9971–9975, 2004.

PRABHU, A.S.; MORAIS, O.P. Rice blast management in upland rice in Brazil. In: Shilder, F.J. & Mendoza, C.V. (Eds.) **Progress in upland rice research**. Manila, IRRI, p. 382-394, 1986.

PRABHU, A. S. Controle das principais doenças de arroz de sequeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.14, n. 161, p. 58-63, 1989.

PRABHU, A. S.; BEDENDO, I. P.; FILIPPI, M. C. **Principais doenças do arroz no Brasil**. 3 ed. rev. atual. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 43 p.

PRASAD, P.V. et al. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. **Field Crops Research**, v. 95, p. 398–411, 2006.

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

REDDY, K. R.; HODGES, H. F. **Climate Change and Global Crop Productivity**, CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, 2000, 488 p.

RIBEIRO, A. S. **Doenças de arroz irrigado**. 2 ed. Pelotas: EMBRAPA-UEPAE Pelotas, 1984. 56 p.

RONN, R.; EKELUND, F.; CHRISTENSEN, S. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on protozoan abundance in soil planted with wheat and on decomposition of wheat roots. **Plant and Soil**, v. 251, p. 13–21, 2003.

RUNION, G. B. et al. Effect of free-air CO<sub>2</sub> enrichment on microbial populations in the rhizosphere and phyllosphere of cotton. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 70, p. 117–130, 1994.

SAKAI, H., HASEGAWA, T., KOBAYASHI, K. Enhancement of rice canopy carbon gain by elevated CO<sub>2</sub> is sensitive to growth stage and leaf nitrogen concentration. **New Phytologist**, v. 170, p. 321–332, 2006.

SAKAI, H. et al. Rice carbon balance under elevated CO<sub>2</sub>. **New Phytologist**, v. 150, p. 241–249, 2001.

SANINT, L. R. Evolución tecnológica, perspectivas futuras y situación mundial del arroz. In: Reunión da cultura do arroz irrigado, Balneário Camburiú, SC. **Palestras**. Itajaí: EPAGRI, 22. ed., p.7-35, 1997.

SANTOS, E. O. **Contribuição ao estudo do fluxo de dióxido de carbono dentro da floresta amazônica**. 1999. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

SASAKI, H. et al. Effect of free-air CO<sub>2</sub> enrichment on the storage of carbohydrate fixed at different stages in rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v. 100, p. 24–31, 2007.

SATAKE, T., YOSHIDA, S. High temperature-induced sterility in indica rice at flowering. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 47, p. 6–17, 1978.

SCHONFELD, M.; JOHNSON, R. C. FERRIS, D. M. Development of winter wheat under increased atmospheric CO<sub>2</sub> and water limitation at tillering. **Crop Science**, ed. 29. p. 1083–1086, 1989.

SHIMONO, H. et al. Rice yield enhancement by elevated CO<sub>2</sub> is reduced in cool weather. **Global Change Biology**. v. 14, p. 276–284, 2008.

SILVA, P. R. F. **Nitrogen volatilization from rice leaves as affected by genotype, temperature, rate and source of nitrogen applied**. 1980. 99 f. Dissertation (Doctor of Philosophy) – The University of Arkansas, (Fayetteville), 1980.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA – CNPAF, 1994. 142p. (Documentos, 45).

SIQUEIRA, O. J. W. et al. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M. A. et al. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2001. p. 33-63.

SNYDER, G.H.; JONES, D.B.; GASCHO, G.J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.1259-1263, 1986.

SOAVE, J. et al. Identificação de progênies de arroz resistentes à brusone no Estado de São Paulo, em 1976/77. **Bragantia**, Campinas, v. 44, p. 311-329, 1985.

SPAHNI, R. et al. Atmospheric methane and nitrous oxide of the late pleistocene from Antarctic ice cores. **Science**, v.310, p.1317- 1321, 2005.

STITT, M. Rising CO<sub>2</sub> levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells. **Plant, Cell & Environment**, v. 14, p. 741–762, 1991.

TAKIJIMA, Y., WIJAYARATNA, H.M.S.; SENEVIRATNE, C.J. Nutrient deficiency and physiological disease of lowland rice in Ceylon. III. Effect of silicate fertilizers and dolomite for increasing rice yields. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.16, p.11-16, 1970.

TANS, P. P.; BAKWIN, P. S.; GUENTHER, D. W. A feasible global carbon cycle observing system: a plan to decipher today's carbon cycle based on observations. **Global change biology**, v. 2, p. 309-318, 1996.

THOMPSON, G.B.; DRAKE, B.G. Insects and fungi on a C3 sedge and a C4 grass exposed to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations in open-top chambers in the field. **Plant, Cell and Environment**, v.17, p.1161-1167, 1994.

WEBSTER, R. K.; GUNELL, P. S. **Compendium of Rice disease**. Minnesota: APS, 1992. 62 p.

WOODWARD, F. I. Stomatal number are sensitive to increases in CO<sub>2</sub> from pre-industrial levels. **Nature**. 327. ed., p. 617-618, 1987.

- YAMAGISHI, J. Crop growth and respiration. In: Ishii, R. (Ed.), **Plant Productive Physiology**. Asakura Publishing, Tokyo, Japan, p. 35–53, 1994.
- YANG, L. X. et al. Seasonal changes in the effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) on dry matter production and distribution of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v. 98, p. 12–19, 2006.
- YOSHIDA, S. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment at different stages of panicle development on yield components and yield of rice (*Oryza sativa* L.). **Soil Science & Plant Nutrition**, v. 19, p. 311–316, 1973.
- YOSHIDA, S.; OSNHI, Y.; KITAGISHI, K. The chemical nature of silicon in rice plant. **Soil and Plant Food**, Japan, v.5, p.23-27, 1979.
- ZAK, D. R. et al. Soil microbial communities beneath *Populus grandidentata* grown under elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. **Journal of Applied Ecology**, v. 6, p. 257–262, 1996.
- ZAK, D. R.; PREGITZER, K. S.; KING, J. S. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub>, fine roots, and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. **New Phytologist**, v. 14, p. 201–222, 2000.
- ZISKA, L.H., MANALO, P.A., ORDONEZ, R.A. Intraspecific variation in the response of rice (*Oryza sativa* L.) to increased CO<sub>2</sub> and temperature: growth and yield response of 17 cultivars. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, p. 1353–1359, 1996.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A.** Análise de variância da porcentagem de brusone em folhas de arroz de três tratamentos ambiente (A) durante sete épocas de avaliação (E) em três cultivares (B), na safra 2007/08.

<b>C.Varição</b>	<b>gl</b>	<b>QM</b>	
Blocos	2	3867,5	*
A	2	1378,9	*
B	2	2143,9	*
A*B	4	2545,4	*
E	6	2498,0	*
A*E	12	2731,1	*
B*E	12	3046,9	*
A*B*E	24	4729,8	*
Resíduo	828	24,4	

**APÊNDICE B.** Equações de regressão polinomial  $y$  = porcentagem área foliar lesionada pela brusone em plantas de arroz sobre  $x$  = épocas de avaliação, conforme os tratamentos com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test).  $R^2$  = coeficiente de determinação = SQ Regressão / SQ Tratamento, na safra 2007/08.

<b>Cultivares/Tratamentos</b>	<b>Equação significativa</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>----- Shao Tiao Tsao -----</b>		
t <sub>1</sub> = Test	$y = -3,993 + 0,176 x - 0,001 x^2$	0,563
t <sub>2</sub> = Est	$y = 2,062 - 0,129 x + 0,002 x^2$	0,979
t <sub>3</sub> = Est+CO <sub>2</sub>	$y = 5,116 - 0,265 x - 0,003 x^2$	0,971
<b>----- Agulha Precoce -----</b>		
t <sub>1</sub> = Test	$y = - 10,60 + 0,659 x - 0,013 x^2 + 0,001 x^3$	0,742
t <sub>2</sub> = Est	$y = 0,437 - 0,029 x$	0,632
t <sub>3</sub> = Est+CO <sub>2</sub>	$y = - 0,733 + 0,023 x$	0,855
<b>----- Caloro -----</b>		
t <sub>1</sub> = Test	$y = - 7,272 + 0,334 x - 0,003 x^2$	0,175
t <sub>2</sub> = Est	$y = 26,44 - 1,795 x + 0,029 x^2$	0,976
t <sub>3</sub> = Est+CO <sub>2</sub>	$y = 6,048 - 0,343 x + 0,005 x^2$	0,764

**APÊNDICE C.** Análise de variância da porcentagem de brusone em folhas de arroz de três tratamentos ambiente (A) durante cinco épocas de avaliação (E) em dois cultivares (B), em 2009.

<b>C.Variação</b>	<b>gl</b>	<b>QM</b>	
Blocos	2	2,2	*
A	2	4,2	*
B	1	5,0	*
A*B	2	2,1	*
E	4	11,1	*
A*E	8	2,6	*
B*E	4	4,5	*
A*B*E	8	5,0	*
Resíduo	842	0,1	

**APÊNDICE D.** Equações de regressão polinomial  $y$  = porcentagem área foliar lesionada pela brusone em plantas de arroz sobre  $x$  = épocas de avaliação, conforme os tratamentos com (Est+CO<sub>2</sub>) ou sem (Est) injeção de CO<sub>2</sub> e sem estufa (Test).  $R^2$  = coeficiente de determinação = SQ Regressão / SQ Tratamento, na safra 2008/09.

<b>Cultivares/Tratamentos</b>	<b>Equação significativa</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
----- <b>Shao Tiao Tsao</b> -----		
t <sub>1</sub> = Test	$y = - 0,600 + 0,024 x - 0,001 x^2$	0,689
t <sub>2</sub> = Est	$y = - 0,968 + 0,040 x$	0,951
t <sub>3</sub> = Est+CO <sub>2</sub>	$y = 0,274 - 0,006 x - 0,008 x^2$	0,275
----- <b>Agulha Precoce</b> -----		
t <sub>1</sub> = Test	$y = - 1,145 + 0,045 x$	0,709
t <sub>2</sub> = Est	$y = - 1,932 + 0,082 x$	0,722
t <sub>3</sub> = Est+CO <sub>2</sub>	$y = - 7,250 + 0,3 x - 0,002 x^2$	0,776

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)