

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

**TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DA CULTURA
DO ARROZ IRRIGADO POR ASPERSÃO EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE SILÍCIO**

JULIANA GARCIA CARVALHO PUPATTO
Engenheira Agrônoma

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia - Área de Concentração em
Agricultura.

BOTUCATU-SP
Dezembro – 2003

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

**TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DA CULTURA
DO ARROZ IRRIGADO POR ASPERSÃO EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE SILÍCIO**

JULIANA GARCIA CARVALHO PUPATTO
Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll
Co-orientador: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia - Área de Concentração em
Agricultura.

BOTUCATU-SP
Dezembro - 2003

“TUDO POSSO NAQUELE QUE ME FORTALECE.”

(Filipenses 4.13)

OFEREÇO

À nossa amada mãe MARIA, exemplo de Fé absoluta em DEUS. Seu Sim nos presenteou JESUS, seu Amor nos presenteia a Paz.

DEDICO

Aos meus amados, Fernando e Lucca, minha família, meu esposo, meu precioso filho, que tanto me amaram ...

AGRADECIMENTOS

- À SANTÍSSIMA TRINDADE, por estar sempre presente na minha vida me fortalecendo.
- Ao meu amado filho Lucca Carvalho Pupatto, pela presença em minha vida que tanto me realiza, você é meu maior presente, continue sempre a iluminar ao seu redor. Obrigada filhinho, tão pequeno nos seus dois anos e compreendeu que a “mamãe tinha que trabalhar”.
- Ao esposo, amigo e enamorado Fernando Lumina Pupatto, pelo amor, apoio e principalmente paciência comigo, muito obrigada de coração.
- Aos meus pais Amaury José Carvalho e Lucinda Garcia Carvalho, alicerces da minha vida, obrigada pelo amor de vocês.
- À FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP) pela concessão de bolsa de estudo e subvenção do trabalho de pesquisa.
- Ao Prof. Dr. LEONARDO THEODORO BÜLL, pela segura orientação, apoio e amizade.
- Ao Co-orientador GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER, pelo conhecimento e sugestões.
- Aos meus irmãos Ana Lúcia Garcia Carvalho Giannetti, Maurício Garcia Carvalho, Marcos Garcia Carvalho e cunhado Sérgio Luiz Furlan Giannetti pela amizade.
- Aos meus sobrinhos Pedro Carvalho Giannetti, Luciana Carvalho Giannetti e Murilo Carvalho Giannetti, pelo carinho de sempre.
- Aos meus avós (*in memoriam*) maternos e paternos que apesar de estarem ausentes fisicamente continuam influenciando minha vida com seus conhecimentos e sabedoria.
- Às amigas Francinete Campoli, Meirelucé dos Santos, Cristiane Higashi, Jacira Ballarin, Sílvia Dionísio, Roberta Santalucia, Adriana Tucci, Cláudia Noguchi e Marcilene da Silveira sempre me incentivando com carinho.
- Aos professores Drs. João Nakagawa, Edson Furtado, João Saad, Edivaldo Velini, João Domingos Rodrigues, Carmem Silvia Boaro, Sílvia Rodrigues Machado, Roberto Lyra Villas Boas, Dirceu Maximiano, Maria Helena Moraes, Carlos Alexandre Crusciol e ao grande mestre Celso Granner (*in memoriam*), pelas sugestões, colaborações e incentivo.

- À grande amiga do curso Rita de Cássia Félix Alvarez pela sincera amizade e companheirismo durante todo o curso de pós-graduação, desde o mestrado.
- Ao amigo Gustavo Habermman pelas medições das trocas gasosas, muito obrigada.
- Aos amigos do curso Rosa de Oliveira, José Salvador Foloni, Celso Cardoso, Fábio de Souza, Elza Alves, Marcelo Corrêa, Gustavo Pavan, José Feltran, José Esteves, Juliana Barilli, Laerte da Silva, Otoniel Moraes, Sandro Brancalião, Sílvia Zanatta, Edwin Palomino e Soratto pelo apoio, companheirismo e amizade durante o curso.
- Ao médico e amigo Antônio Tornich Júnior pelo apoio e paciência.
- À Willian Faleiros de Moura (UFU), pelas análises químicas do silício.
- À Cibele Alves e Brenda Santana que com tanto carinho cuidaram do meu filho nos momentos em que precisei estar ausente.
- Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal Maurílio Oliveira, Armando Silva, Ciro Oliveira, Dorival Arruda, Valéria Giandoni, Vera Rossi, Ilanir Bocetto, Rubens Souza, Joselina Pauletti, Milton Silva, Casimiro Alves, Aparecido da Silva, Osvaldo Soares, Carlos Conceição, Flávio da Silva, Célio Ricardo, Valdemir dos Santos, Milton Matheus Vieira, Nelson Marchi, Antônio Camargo e Eduardo Biral Nogueira.
- Aos funcionários da Supervisão das Fazendas em especial Marcos José Gonçalves, Mário Munhoz, Manoel L. dos Santos e Aparecido Bessa Ramon, pelo auxílio no experimento.
- Aos funcionários Gilberto Winckler e Pedro Alves do Departamento de Engenharia Rural.
- Ao funcionário Antônio Ribeiro da Cunha do Departamento de Recursos Naturais / Setor Ciências Ambientais.
- Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais / Setor Ciência do Solo, Adenir Pires, Andréia Rossi, Antonia de Fátima Heliodoro, Eder Pires, Jair Vieira, José Carlos Coelho, José De Pieri, José Garcia Pires, Noel Batista, Roberto Prado e Sonia Siono.
- Aos funcionários da Biblioteca “Paulo de Carvalho Mattos”, Maria Inês Cruz, Célia Inoue, Rita Contin, Luiz da Paz, Maria Barbosa, Solange Spadim, Hellen Sato, Mirian Carani, Denise Anis, Ermete Neto, Maria Alho, Marli Leão, Nilson Camargo e Neusa Branco.
- À seção de Pós-Graduação nas pessoas de Marilena Santos, Marlene Freitas, Jaqueline Gonçalves e Kátia Duarte.
- À todos que direta ou indiretamente participaram da elaboração desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Cultura do arroz.....	7
4.2 O elemento silício.....	9
4.3 Trocas gasosas.....	15
4.4 Análise de crescimento.....	19
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5.1 Primeiro experimento.....	23
5.1.1 Tratamentos.....	23
5.1.2 Adubação.....	24
5.1.3 Semeadura.....	24
5.1.4 Irrigação.....	24
5.1.5 Tratos culturais.....	25
5.1.5.1 Controle de plantas daninhas.....	25
5.1.5.2 Adubação em cobertura.....	25
5.1.5.3 Controle de pragas.....	25
5.1.6 Variáveis avaliadas.....	25
5.1.6.1 Análise química de tecido vegetal.....	26
5.1.6.2 Componentes da produção.....	26
5.1.6.2.1 Número colmos / m ²	26
5.1.6.2.2 Número panículas / m ²	26
5.1.6.2.3 Perfilhamento útil.....	26
5.1.6.2.4 Número espiguetas/panícula.....	27

5.1.6.2.5	Número espiguetas granadas e chochas por panícula...	27
5.1.6.2.6	Porcentagem de espiguetas granadas.....	27
5.1.6.2.7	Massa 1000 grãos.....	27
5.1.6.3	Produtividade de grãos.....	27
5.1.7	Análise estatística.....	27
5.2	Segundo experimento.....	28
5.2.1	Tratamentos.....	28
5.2.2	Adubação.....	29
5.2.3	Semeadura.....	29
5.2.4	Irrigação.....	30
5.2.5	Tratos culturais.....	33
5.2.5.1	Controle de plantas daninhas.....	33
5.2.5.2	Adubação em cobertura.....	33
5.2.5.3	Controle de doenças.....	33
5.2.5.4	Controle de pragas.....	33
5.2.6	Variáveis avaliadas.....	34
5.2.6.1	Análise química do solo.....	34
5.2.6.2	Análise química do tecido vegetal.....	35
5.2.6.3	Incidência de manchas foliares.....	35
5.2.6.4	Produtividade de grãos.....	36
5.2.6.5	Análise quantitativa de crescimento.....	36
5.2.6.5.1	Medidas biométricas.....	37
5.2.6.5.2	Índices fisiológicos.....	37
5.2.6.5.2.1	Índice de área foliar (IAF).....	38
5.2.6.5.2.2	Duração da área foliar (DAF).....	38
5.2.6.5.2.3	Taxa de crescimento da comunidade (TCC).....	38
5.2.6.5.2.4	Taxa assimilatória líquida (TAL).....	39
5.2.6.5.2.5	Área foliar específica (AFE).....	39
5.2.6.6	Medições das trocas gasosas.....	39

5.2.7	Análise estatística.....	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
6.1	Primeiro experimento.....	42
6.1.1	Análise química do tecido vegetal.....	42
6.1.1.1	Análise química de silício no tecido vegetal.....	46
6.1.2	Componentes da produção.....	48
6.1.3	Produtividade de grãos.....	51
6.2	Segundo experimento.....	53
6.2.1	Análise química do solo.....	53
6.2.1.1	Análise química de silício no solo.....	56
6.2.2	Análise química do tecido vegetal.....	57
6.2.2.1	Análise química de silício no tecido vegetal.....	65
6.2.3	Componentes da produção.....	69
6.2.4	Incidência de manchas foliares.....	74
6.2.5	Produtividade de grãos.....	82
6.2.6	Análise de crescimento.....	84
6.2.6.1	Medidas biométricas.....	84
6.2.6.1.1	Altura média da planta.....	84
6.2.6.1.2	Área foliar e matéria seca dos diferentes órgãos da Planta.....	87
6.2.6.1.2.1	Matéria seca do colmo+bainha (MSC).....	92
6.2.6.1.2.2	Matéria seca das folhas (MSF).....	94
6.2.6.1.2.3	Matéria seca das panículas (MSP).....	96
6.2.6.1.2.4	Matéria seca total da planta (MST).....	96
6.2.6.2	Índices fisiológicos.....	100
6.2.6.2.1	Índice de área foliar (IAF).....	100
6.2.6.2.2	Duração da área foliar (DAF).....	103
6.2.6.2.3	Taxa assimilatória líquida (TAL).....	105
6.2.6.2.4	Taxa de crescimento da comunidade (TCC).....	106
6.2.6.2.5	Área foliar específica (AFE).....	109

6.2.7 Trocas gasosas.....	113
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
8 CONCLUSÕES.....	127
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
APÊNDICE.....	143

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Características químicas do solo da área experimental (primeiro experimento).....	23
2 Teores de micronutrientes do solo da área experimental (primeiro experimento).....	23
3 Características químicas do solo da área experimental (segundo experimento).....	28
4 Teores de micronutrientes do solo da área experimental (segundo experimento).....	28
5 Características do Recmix e do calcário magnesiano.....	29
6 Dias após semeadura para florescimento e colheita da cultura do arroz em função da disponibilidade de água.....	36
7 Análise química de macronutrientes no tecido vegetal do arroz em função da aplicação de doses de silício em diferentes épocas.....	43
8 Análise química de micronutrientes no tecido vegetal do arroz em função da aplicação de doses de silício em diferentes épocas.....	45
9 Análise química de silício no tecido vegetal do arroz no florescimento e na maturação em função da aplicação de doses de silício em diferentes épocas.....	47
10 Efeitos de épocas de aplicação e doses de silício nos componentes da produção da cultura do arroz.....	49
11 Efeitos de épocas de aplicação e doses de silício nos componentes da produção da cultura do arroz (continuação).....	50
12 Efeitos de épocas de aplicação e doses de silício na produtividade de grãos da cultura do arroz.....	52
13 Características químicas de Nitossolo Vermelho em função da aplicação de doses de silício no solo, como Recmix.....	54
14 Teores de micronutrientes em Nitossolo Vermelho em função da aplicação de doses de silício no solo, como Recmix.....	55
15 Análise química de macronutrientes no tecido vegetal do arroz em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	57
16 Interações na análise química de macronutrientes no tecido vegetal do arroz entre	

	aplicação foliar de silício e disponibilidade de água.....	59
17	Análise química de micronutrientes no tecido vegetal do arroz em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	62
18	Interações na análise química de micronutrientes no tecido vegetal do arroz entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água.....	63
19	Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício no teor de silício no florescimento e maturação.....	66
20	Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água nos teores de silício no florescimento e maturação.....	67
21	Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício nos componentes da produção da cultura do arroz.....	70
22	Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água nos componentes da produção da cultura do arroz.....	72
23	Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício na severidade e incidência da brusone na cultura do arroz.....	75
24	Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício no teor de silício na folha bandeira e na panícula, no estádio da maturação.....	78
25	Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água nos teores de silício na folha bandeira e panícula, no estádio da maturação.....	78
26	Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício na produtividade de grãos da cultura do arroz.....	83
27	Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água na produtividade de grãos da cultura do arroz.....	83
28	Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício na altura média da planta de arroz.....	84
29	Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água na altura média da planta do arroz.....	85

30	Funções para variação do índice de área foliar (IAF) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	88
31	Funções para variação da matéria seca do colmo+bainha (MSC) de arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	89
32	Funções para variação da matéria seca das folhas (MSF) de arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	90
33	Funções para variação da matéria seca total da planta (MST) de arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Croqui do projeto de irrigação instalado na área do segundo experimento.....	32
2 Teor de silício no solo em função da aplicação de silício ao solo.....	56
3 Teor de Ca na planta em função da aplicação de silício ao solo.....	58
4 Teor de Ca na planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.....	60
5 Teor de Ca na planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.....	61
6 Teor de S na planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.....	61
7 Teor de B na planta em função da aplicação de silício ao solo.....	62
8 Teor de B na planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.....	65
9 Teor de silício na planta em função da aplicação de silício ao solo, no florescimento e na maturação.....	66
10 Teor de silício na planta em função da aplicação de silício ao solo, no florescimento e na maturação, em diferentes lâminas d'água.....	68
11 Teor de silício na planta em função da aplicação de silício ao solo, no florescimento e na maturação, em diferentes modos de aplicação do silício.....	68
12 Número de espiguetas/panícula em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.....	73
13 Número de espiguetas chochas/panícula em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.....	74
14 Incidência de brusone no pescoço da panícula em função da aplicação de silício ao solo.....	76
15 Teor de silício na planta em função da aplicação de silício ao solo, na folha bandeira e panícula de planta de arroz, na época da maturação.....	76
16 Incidência de brusone no pescoço da panícula em função da aplicação de silício	

ao solo, em diferentes lâminas d'água.....	77
17 Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água nos teores de silício na folha bandeira e panícula, no estágio da maturação.....	79
18 Incidência de brusone no pescoço da panícula em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.....	81
19 Teor de silício na folha bandeira em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.....	81
20 Altura média da planta em função da aplicação de silício ao solo.....	85
21 Altura média da planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.....	86
22 Altura média da planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.....	86
23 Matéria seca do colmo+bainha da planta de arroz (kg m^{-2}) em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício	93
24 Matéria seca das folhas da planta de arroz (kg m^{-2}) em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	95
25 Matéria seca das panículas da planta de arroz (kg m^{-2}) em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	98
26 Matéria seca total da planta do arroz (kg m^{-2}) em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	99
27 Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	102
28 Duração da área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2} \times \text{dia}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	104

29	Taxa assimilatória líquida ($\text{kg m}^{-2} \times \text{dia}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	107
30	Taxa de crescimento da comunidade ($\text{kg ha}^{-1} \times \text{dia}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	108
31	Área foliar específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	112
32	Condutância ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	115
33	Taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	116
34	Taxa de transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	119
35	Eficiência de uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.....	120
36	Trocas gasosas e eficiência do uso da água do arroz aos 82 e 92 dias após emergência, para o tratamento de sequeiro e aos 112 dias para o irrigado, em função da aplicação de doses de silício no solo e aplicação foliar de silício.....	121

1 RESUMO

A absorção de silício pelas plantas do arroz beneficia seu crescimento e desenvolvimento, mesmo não sendo ainda considerado como essencial do ponto de vista fisiológico. Em função de uma dupla camada de sílica abaixo da cutícula, além da menor transpiração que reflete maior economia de água, as plantas de arroz mantêm suas folhas mais eretas promovendo maior aproveitamento da luz e refletindo em maior eficiência fotossintética. O silício promove também uma menor transpiração devido ao controle da abertura inapropriada do estômato, aumentando assim a eficiência do uso da água. A aplicação foliar pode ser uma alternativa eficaz de adubação com silício. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência do silício na transpiração em diferentes níveis de água disponível e verificar a eficácia da aplicação foliar, através de medições das trocas gasosas para a cultura do arroz irrigado por aspersão. O trabalho foi conduzido em duas etapas; a primeira constou de uma pré-avaliação de adubação foliar, definindo-se a melhor dose e época de aplicação de silício, a segunda etapa constou do experimento propriamente dito. Os tratamentos do primeiro experimento foram constituídos de 4 doses de silício aplicado via foliar em 5 épocas, em esquema fatorial em blocos casualizados, com 4 repetições. Foi utilizado como fonte de silício o metassilicato de sódio, nas doses de 0, 20, 40, 60 mM L⁻¹ de Si; as épocas das aplicações foliares foram os estádios fenológicos da cultura. Como tratamento do segundo experimento foram utilizadas 2 lâminas de água, 4 doses de silício, e aplicação ou não de Si via foliar, em esquema fatorial em parcelas sub-subdivididas, com 4 repetições. A fonte de silício aplicado

no solo foi uma escória de aço inox, denominada Recmix, nas doses de 0, 300, 600 e 900 kg ha⁻¹ de Si. Os materiais foram aplicados e incorporados ao solo 19 dias antes da semeadura da cultivar IAC 202. Uma das lâminas de água utilizada foi a precipitação pluvial e a outra fornecida por irrigação suplementar via aspersão. No segundo experimento foi realizada análise química do solo; análise química do tecido vegetal; determinação dos componentes de produção; avaliações da severidade e incidência de doenças; avaliação da produtividade de grãos; análise de crescimento funcional, com coletas nos principais estádios fenológicos do arroz e medições das trocas gasosas, através de um sistema aberto portátil de fotossíntese LI-6400 (LI-COR). Definiu-se no primeiro experimento a dose 40 mM L⁻¹ de Si no ponto da diferenciação floral como melhor tratamento, devido a maior produtividade obtida. O Recmix disponibilizou nutrientes como o P, B, Cu, Fe, Mn e Zn, aumentando o teor de Si no solo e na planta. O tratamento irrigado elevou os teores de N, P, Mg e Si nas plantas, sendo que estas apresentaram maior altura, perfilhamento, índice de área foliar (IAF), matéria seca, duração da área foliar (DAF), taxa de crescimento da comunidade (TCC) e área foliar específica (AFE); com a disponibilidade hídrica adequada os estômatos permaneceram mais abertos, aumentando assim a assimilação de CO₂, mas com maiores taxas de transpiração; tais vantagens inferiram em maior produtividade de grãos. O silício não controlou a brusone, aumentou a matéria seca, o IAF, a DAF, a TCC, diminuiu a AFE e não alterou a taxa assimilatória líquida (TAL). O tratamento foliar foi um diferencial na TCC e AFE, revelou tendência de diminuir a incidência de brusone incidente no pescoço da panícula, aumentou o teor de P na planta e diminuiu os de Fe e Mn. Quanto às trocas gasosas, a adubação foliar juntamente com a adição de 900 kg ha⁻¹ de Si ao solo, novamente se sobressaiu, possibilitando às plantas, em condições de sequeiro, um mecanismo mais sensível do movimento estomático, diminuindo a transpiração da planta através de menor abertura estomática e aumentando a eficiência de uso da água. Estes diferenciais da aplicação foliar interferiram na produtividade, quando esta foi feita o déficit hídrico não causou perdas significativas. A adubação foliar de silício revelou ser uma prática agrônômica capaz de tornar as plantas mais produtivas, sendo uma alternativa de adubação similar e com possibilidades de superar à aplicação via solo, caso venha a ser aplicado mais vezes no estágio fenológico da diferenciação floral do arroz.

GAS EXCHANGES AND WATER-USE EFFICIENCY IN A SPRINKLING-IRRIGATED RICE CROP AS A FUNCTION OF SILICON APPLICATION. Botucatu, 2003. 151p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JULIANA GARCIA CARVALHO PUPATTO

Adviser: LEONARDO THEODORO BÜLL

Co-adviser: GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER

2 SUMMARY

The uptake of silicon by rice plants benefits their growth and development, even though it has not yet been considered essential from a physiological perspective. As a function of a double layer of silicone beneath the cuticle in addition to lesser transpiration which reflects greater economizing of water, the rice plants maintain more erect leaves promoting greater exploitation of light and reflecting greater photosynthetic efficiency. Silicon also promotes diminished transpiration due to control of inappropriate opening of the stomata, thus augmenting the efficiency of water use. This foliar application can be a effective alternative to fertilization with silicon. The aim of the present work was to evaluate the efficiency of silicon in transpiration at different levels of water availability and to verify the efficacy of foliar application through the measurement of gas exchanges in a rice crop irrigated by sprinkler. The work was conducted in two stages; the first consisted of pre-evaluation of foliar fertilization, defined as the optimum dose and stage for silicon application; the second stage consisted of the experiment itself. The treatments of the first experiment entailed 4 doses of silicon applied to the leaves at 5 stages in a factorial scheme of randomized blocks with 4 repetitions. The source of silicon utilized was sodium metassilicate, in doses of 0, 20, 40, and 60 mM L⁻¹ of Si; the stages of foliar applications were the phenological states of the crop. As treatment for the second experiment, 2 applications of water were utilized along with 4 doses of silicon and foliar application, or not, of Si in a factorial scheme of sub-subdivided parcels, with 4 repetitions. The source of silicon was a slag of inoxidable steel, called Recmix, applied in the soil in doses of 0, 300, 600 and 900 kg ha⁻¹ de Si. The materials

were applied and incorporated into the soil 19 days before sowing the seeds of cultivar IAC 202. One of the applications of water was pluvial precipitation and the other supplemental irrigation by sprinkler. In the second experiment was accomplished chemical analysis of both the soil and vegetal tissue, determination of yield components, evaluation of the incidence and severity of diseases, measurement of grain yield, analysis of functional growth from cuttings from the principal phenological states for rice and measurements of gas exchanges via a portable open photosynthetic system LI-6400 (LI-COR). The dose of 40 mM L⁻¹ of Si at the point of floral differentiation was defined as the best treatment in the first experiment, due to the maximized yield obtained. Recmix released nutrients such as P, B, Cu, Fe, Mn and Zn, increasing the Si content in both the soil and the plant. Irrigation treatment elevated contents of N, P, Mg and Si in the plants, as shown in greater height, tillering, leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), community growth rate (CGR) and specific leaf area (SLA); with adequate water availability, the stomata remained more open, thus augmenting CO₂ assimilation though with greater transpiration rates; such advantages imply greater grain yield. Silicon did not control blast disease and increased dry material, LAI, LAD and CGR; it reduced SLA and did not alter the net assimilation rate (NAR). Foliar treatment, which was different in CGR and SLA, showed a tendency to reduce blast disease in the neck of the panicle, increase P content in the plant and diminish those of Fe and Mn. Gas exchanges, as much as foliar fertilization together with the addition of 900 kg ha⁻¹ of Si to the soil, again were increased, permitting the plants in upland conditions a mechanism more sensitive to stomatal movement, diminishing plant transpiration through a smaller stomatal opening and increasing efficiency of water use. These differences in foliar application interfered in yield, when a water deficit occurred, and did not cause significant losses. The silicon foliar fertilization revealed to be an agronomic practice capable of making plants more productive, is an alternative to similar fertilization with possibilities of outperforming application via soil, the manner that comes to be applied increasingly at the phenological states of floral differentiation in rice.

Keywords: gas exchanges, foliar fertilization, silicon, growth analysis, rice, *Oryza sativa* L.

3 INTRODUÇÃO

O arroz ocupa uma posição de destaque na dieta alimentar do povo brasileiro, sendo uma cultura largamente difundida no país. É consumido por todas as classes sociais, em especial por aquelas de baixa renda. Praticamente é cultivado em todos os estados, sendo em alguns deles a principal fonte de renda agrícola. Steinmetz e Meireles (1999) relatam que em algumas regiões produtoras de arroz de terras altas, em particular na região dos Cerrados, é comum a ocorrência de estiagens de uma, duas ou até três semanas (veranicos), durante a estação chuvosa.

O silício mesmo não sendo essencial, do ponto de vista fisiológico, para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, a sua absorção traz inúmeros benefícios, principalmente ao arroz. Isto mostra a “essencialidade agronômica” deste elemento para um aumento e/ou produção sustentável desta cultura (BARBOSA FILHO et al., 2000).

O fornecimento do silício às plantas estimula o crescimento e a produção vegetal por meio de ações indiretas, como diminuição do autossombreamento, maior rigidez estrutural dos tecidos, redução da toxidez de Al, Mn, Fe e Na, diminuição na incidência de patógenos e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (MARSCHNER, 1995).

Além destas vantagens o silício faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor pela redução da transpiração, devido ao acúmulo de sílica abaixo da cutícula das células epidérmicas nas folhas de arroz e ao controle adequado da abertura dos

estômatos; podendo ser de extrema importância em se tratando de solos sob cerrado, em que o período de estiagem é longo e severo.

A melhor arquitetura foliar permite maior penetração de luz solar, maior absorção de CO₂ e diminuição da transpiração excessiva, o que permite o incremento da taxa fotossintética (TAKAHASHI, 1995). Menzies et al. (1992) avaliaram a persistência da pulverização foliar de silício em pepino e demonstraram que até sete dias após a aplicação, se inoculassem com *S. fugilinea*, o Si reduzia a formação de colônias de mofo; concluindo portanto que a aplicação foliar pode ser uma alternativa eficaz de adubação de silício.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência do silício na transpiração em diferentes níveis de água disponível e verificar a eficácia da aplicação foliar, através de medições das trocas gasosas para a cultura do arroz irrigado por aspersão.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cultura do arroz

O arroz constitui um produto alimentar básico de cerca de 50% da população mundial e atende às necessidades de 20% de calorias e 13% de proteínas para o consumo humano, em níveis mundiais (YOKOYAMA et al., 1999).

A China é o maior produtor mundial de arroz e o Brasil ocupa o 10^o lugar com 1,8% do total produzido no mundo. Considerando apenas o cultivo de arroz de sequeiro, o Brasil é o 1^o produtor mundial. No Brasil, o Rio Grande do Sul é o maior estado produtor, seguido de Mato Grosso e Santa Catarina. Na dieta básica do brasileiro, o consumo per capita de arroz é de 67,8 kg/ano e o consumo absoluto, segundo estimativas da Conab, é de 11,7 milhões de toneladas, estando o Brasil entre os dez maiores consumidores mundiais do grão (AGRIANUAL, 2003).

É plantado em praticamente todos os estados do país, em latitudes que variam desde 5° Norte até 33° Sul, sendo uma das culturas mais atingidas por condições climáticas adversas (STEINMETZ e MEIRELES, 1999).

A deficiência hídrica é a principal responsável pela baixa produtividade e instabilidade de produção do arroz de sequeiro. Os períodos de estiagem são caracterizados pela alta demanda evaporativa do ar, altos níveis de radiação solar e

temperaturas elevadas. A região dos Cerrados é também caracterizada pela predominância de solos ácidos, com alta velocidade de infiltração de água, baixa capacidade de retenção de umidade e baixa fertilidade natural (STEINMETZ e MEIRELES, 1999), sendo necessário para melhorá-los aplicar e incorporar corretivos, fertilizantes e matéria orgânica. Normalmente, a ocorrência de veranicos coincide com a fase do florescimento do arroz de sequeiro, comprometendo a produção final; quando ocorrem na fase vegetativa não causam prejuízos muito severos.

Giúdice et al. (1974) constataram que, com o uso de irrigação por aspersão a planta não fica sujeita a estresse hídrico, e como resultado o processo de enchimento de grãos não sofre redução. Em consequência, o número de grãos granados por panícula e o peso dos grãos são maiores.

No ecossistema de terras altas a cultura do arroz vem se apresentando como um componente fundamental em sistemas agrícolas, tanto em cultivo sem irrigação como irrigado por aspersão, enquanto o sistema de sequeiro tradicional, de abertura de novas áreas, está diminuindo em importância. O sistema de cultivo de arroz com irrigação por aspersão caracteriza-se pelo intenso uso do solo, com rotação de culturas e elevado uso de tecnologia. As cultivares de arroz utilizadas no sistema, embora ainda apresentem algumas limitações, produzem entre 3,5 a 5,0 t/ha (GUIMARÃES e SANT'ANA, 1999).

As necessidades diárias de água pela cultura de arroz, segundo Fornasieri Filho e Fornasieri (1993) são inferiores a 1 mm nos primeiros 30 dias do ciclo, aumentando gradativamente até atingir o máximo de 6 a 7 mm, no período de 20 dias que antecede o florescimento; a seguir, caindo gradativamente para 4 mm; e após 30 dias do florescimento, atingem 2 mm. As necessidades hídricas do arroz de sequeiro podem ser expressas pelas exigências em cada estágio de desenvolvimento fenológico. Segundo Fageria (1980) o consumo de água do arroz de sequeiro durante o ciclo é distribuído em 30% na fase vegetativa (da germinação à iniciação do primórdio floral), 55% na fase reprodutiva (florescimento todo) e 15% durante a maturação.

Para controle da irrigação por aspersão, Giúdice et al. (1974) estabeleceram como frequência de irrigação, baseada no consumo de uma determinada fração da água disponível do solo (AD), o consumo de 40-60% da AD na camada de solo de 0-10 cm, ou 40% da AD na camada de 0-20 cm. Entretanto, Diniz et al. (1976) sugerem quando for

consumido 50% da AD à 10 cm de profundidade. Stone e Silveira (1989) relatam que como a curva de retenção de água no solo tem formas distintas para os diferentes solos, uma dada porcentagem de AD pode corresponder a diferentes tensões de água no solo; assim, resultados expressos em porcentagem de água disponível só podem ser aplicados em solos com características semelhantes, sugerindo o uso de tensiômetros.

Segundo Crusciol (1998) a programação da quantidade de água a ser aplicada na irrigação do arroz por aspersão, se dá pelo conhecimento da necessidade de água nos seus diferentes estádios de desenvolvimento; o requerimento de água pode ser estimado a partir de tanques evaporimétricos, baseado na correlação existente entre a evaporação da água medida no tanque classe A (E_v) e a evapotranspiração da cultura (ET_c), usando-se coeficientes do tanque classe A (K_p) e da cultura (K_c), sendo $ET_c = E_v \times K_p \times K_c$.

Reichardt (1987) relata que o coeficiente da cultura (K_c) para arroz irrigado por inundação é 1 a 1,2 durante todo ciclo, e para aspersão é de 0,3-0,4 de 0 aos 20 dias, de 0,7-0,8 dos 20 aos 50 dias, de 1,05-1,20 dos 50 aos 110 dias, 0,65-0,70 dos 110 aos 160 dias e de 0,20-0,25 até a colheita. No entanto, Crusciol (1998) em seu estudo fez algumas adaptações que resultaram no seguinte esquema: K_c de 0,4 na fase vegetativa, de 0,7 por 11 dias na fase do ponto de algodão, de 1,0 por 8 dias, de 1,3 por 8 dias na fase do emborrachamento, de 1,0 por 8 dias na fase de início da emergência da panícula e K_c de 0,7 até o término da irrigação.

4.2 O elemento silício

A palavra silício provém do latim *silex*, rocha constituída de sílica (dióxido de silício) amorfa hidratada e sílica microcristalina, tal rocha era utilizada, pela sua dureza, na confecção de utensílios e armas na Era Pré-Metálica (Paleolítica). É um elemento com propriedades elétricas e físicas de um semimetal, desempenhando no reino mineral um papel cuja importância pode ser comparável à do carbono nos reinos vegetal e animal. Semelhante ao carbono, porém de modo menos intenso, o Si possui a capacidade de formar longas cadeias, muitas vezes ramificadas (LIMA FILHO et al., 1999)

Depois do oxigênio, o silício (Si) é o elemento mais abundante na litosfera que poderia ser definida como um aluminossilicato metálico. Apresenta-se em formas livres e combinadas como o componente dominante da fração sólida, e dissolvido na solução do solo. O ácido monossilícico, também denominado de ácido ortossilícico ou simplesmente ácido silícico, ocorre além da solução do solo, nas águas doces e oceanos de todo o mundo.

O óxido de silício (SiO_2), segundo Barbosa Filho et al. (2000), é o mineral primário mais abundante em solos tropicais e constitui a base estrutural da maioria das argilas. Mas, devido ao processo de dessilicatização que ocorreu durante a intemperização dos solos, o Si é encontrado predominantemente nas formas de quartzo, opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e outras formas não disponíveis às plantas. Solos pobres em Si são também pobres em outros nutrientes essenciais.

Solos tropicais e subtropicais sujeitos à intemperização e lixiviação, com cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, devido à dessilicatização. Estes solos, normalmente, apresentam baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de P, além de uma atividade microbiana reduzida (LIMA FILHO et al., 1999).

McKeague e Cline (1963) relatam como fatores do solo que influenciam a concentração do Si na solução a composição mineralógica, ciclagem, textura, pH e presença de íons em solução. Existem evidências de que a concentração do H_4SiO_4 na solução do solo é controlada por uma reação de adsorção dependente do pH. O mecanismo para esta retenção reversível do H_4SiO_4 é pouco conhecido. Em geral, a concentração de Si na solução diminui com a elevação do pH. Contudo, a ionização aumenta o fenômeno da adsorção das partículas de solo.

O ponto de menor concentração de sílica em solução ocorre a valor de pH 9,0. Woodruff (1954), citado por McKeague e Cline (1963), verificou que a concentração de sílica em solução aumentou com a redução da saturação por bases. Isto parece lógico, uma vez que a saturação por bases apresenta relação direta com o pH.

A sílica do solo favorece a absorção do fósforo como resultado da troca de íons fosfato pelo ácido silícico; também pode acarretar diminuição da absorção excessiva de fósforo induzida por uma elevada adubação fosfatada. Em arroz irrigado por inundação, a sílica diminui os efeitos da toxidez provocada pelo excesso de ferro e manganês

reduzindo sua absorção pela planta, em virtude da oxidação dos íons ferroso e manganoso pelas raízes e deposição à sua superfície, tornando-os insolúveis (BELLINGIERI, 1979).

Apesar da abundância na crosta terrestre, em ecossistemas específicos, nos quais os solos são utilizados intensivamente, principalmente com culturas acumuladoras de Si, podem tornar-se paulatinamente deficientes no elemento, pois a exportação do Si não é compensada, via de regra, com a fertilização silicatada.

Segundo Lima Filho et al. (1999), a relação entre a absorção do Si e o crescimento vegetal foi investigado pela primeira vez há mais de 100 anos. O Si é um nutriente em diatomáceas, que o absorvem ativamente, provavelmente através do cotransporte com o Na, sendo que a falta de Si atinge negativamente a síntese de DNA e de clorofila nestes organismos. Werner e Roth (1983), citados pelos mesmos autores, comentam que a comprovação da essencialidade do Si é muito difícil de ser obtida, devido à sua abundância na biosfera; está presente em quantidades significativas mesmo em sais nutrientes, água e ar altamente purificados.

Takahashi e Miyake (1977), citados por Marschner (1995), em um levantamento de 175 espécies de planta cultivadas no mesmo solo, distinguiram-nas entre acumuladoras silício (plantas em que a absorção Si excede largamente a absorção de água), e não acumuladoras silício (plantas em que absorção Si é similar ou menor que a de água). Okuda e Takahashi (1965), citados pelo mesmo autor, relatam que no arroz e em outras espécies acumuladoras, a absorção de silício está intimamente relacionada ao metabolismo radicular e não muito atingida pela taxa de transpiração. Lima Filho et al. (1999) comentam que em média, estima-se que para produzir 5 toneladas de grãos, a cultura do arroz remove de 500 a 1000 kg de SiO_2 por hectare.

A absorção de silício, segundo Barbosa Filho (1987) ocorre na forma de H_4SiO_4 , sendo que aproximadamente 90% do silício é encontrado na parte aérea do arroz. Yoshida (1965), citado por Faria (2000), relata que a absorção de Si da solução do solo dá-se de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas. A água absorvida é perdida através da transpiração e o Si fica nos tecidos das plantas. No entanto Kabata-Pendias e Pendias (1984) concluíram, com base em Tinker, que a absorção de Si é passiva pela maioria das gramíneas, e no arroz é preferencialmente absorvido por processo ativo. O transporte de silício a longa distância é feito pelo xilema,

onde está presente na forma de ácido monossilícico, e a sua distribuição na parte aérea depende da taxa de transpiração desses órgãos.

Handreck e Jones (1968), citados por Faria (2000), trabalhando com plantas de aveia, verificaram que a folha bandeira era a que apresentava os mais altos valores de Si e que a distribuição deste nas folhas seguia uma curva hiperbólica, isto é, a concentração diminuía do ápice para a base da folha de forma exponencial. Com base nesta observação, os mesmos autores sugerem que o ácido monossilícico se deposita nas partes ou regiões em que a água é perdida em grande quantidade.

Balastra et al. (1989), citados por Barbosa Filho et al. (2000), relatam que o silício é transportado pelo xilema e as maiores quantidades são depositadas na parede celular destes vasos. A forma de deposição de silício é como sílica amorfa e hidratada ou opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui nas plantas. Yoshida et al. (1962), citados por Inanaga et al. (1995), relatam que gel silícico é a forma mais predominante do silício nas plantas de arroz, contabilizando de 90 - 95% do silício total, enquanto o nível de silício como ácido silícico varia de 0,5 a 8% do silício total.

O Si absorvido pela planta é depositado principalmente na parede celular, abaixo da cutícula, aumentando a rigidez da célula, e segundo Lee et al. (1990), citados por Barbosa Filho et al. (2000), podendo elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina da parede celular; o mecanismo de resistência a doenças é atribuído à associação do Si com constituintes da parede celular, tornando-as menos acessíveis às enzimas de degradação.

Mengel e Kirkby (1987) relatam que o ácido silícico como o ácido bórico, reage com *o*-fenóis como o ácido caféico, um precursor da síntese de lignina, para formar mono, di ou complexos poliméricos de Si. Portanto, possivelmente o Si afeta a síntese de lignina. Esta possível relação entre Si e a síntese de lignina é importante para o ponto de vista estrutural bem como um função bioquímica do elemento. Sílica tem uma função crucial no metabolismo de aminoácido e proteínas.

Existe uma relação direta bastante significativa entre a intensidade da luz e o conteúdo de fenóis em folhas (MARSCHNER, 1995). Segundo Lima Filho et al. (1999) alguns mecanismos de defesa da planta, como aqueles baseados no metabolismo dos compostos fenólicos, ficam enfraquecidos no período noturno; pode-se aventar a possibilidade

do aumento da capacidade destes mecanismos no escuro, quando a planta é suprida com quantidades elevadas de Si.

Em trabalho de revisão, Barbosa Filho et al. (2000) relatam que a silicificação da epiderme previne a penetração de mandíbulas e a mastigação pelos insetos porque as células ficam mais endurecidas (YOSHIDA, 1975). Larvas da broca de colo, nutridas com plantas com alto conteúdo de silício, tiveram as mandíbulas danificadas (DJAMIN e PATHAK, 1967).

Segundo Agarie et al. (1998b) diversos pesquisadores, como Yoshida e Kitagishi (1962) e Yoshida et al. (1959), deduziram que a redução da transpiração, em plantas de arroz, quando o Si é aplicado, poderia ser devido à redução na taxa de transpiração através do adensamento da camada cuticular pela deposição da sílica. Contudo, segundo Maruyama e Tajima (1990) e Yoshida e de los Reyes (1976), citados pelos mesmos autores, a transpiração ocorre principalmente pelos poros estomatais, e a transpiração pela camada cuticular representa uma parte muito pequena na transpiração como um todo. Segundo os mesmos autores, estudos recentes indicam que a redução na taxa de transpiração do arroz, pela aplicação do Si, era atribuído principalmente à redução na transpiração pelos poros estomatais.

Ma et al. (1989) relatam que as lâminas foliares são os principais órgãos da fotossíntese e a folha bandeira contribui significativamente para a produção. Os autores citam que Takahashi et al. (1966) encontraram que o silício promove a assimilação de CO₂ nas lâminas foliares e a translocação de produtos assimilados para a panícula. O silício tem papel importante na promoção da fotossíntese das folhas, especialmente a folha bandeira.

Segundo Agarie et al. (1998a), o silício está associado à prevenção do progresso da senescência foliar, devido à manutenção da fotossíntese e proteção da destruição de clorofila, principalmente em condições de altas temperaturas e baixa umidade; comprovando este fato, Carvalho (2000), em estudo de análise de crescimento em plantas de arroz, encontrou maior duração da área foliar (DAF) com a adição de Si.

Conforme Agarie et al. (1998c) relatam, o Si está envolvido na estabilidade térmica dos lipídeos nas membranas celulares, em condições de estresse ambiental o Si previne a deterioração estrutural e funcional das membranas celulares em arroz, sendo que este aumento na estabilidade das membranas celulares poderia contribuir para a prevenção do processo de envelhecimento da folha; sugeriram também que o silício está

envolvido nas relações hídricas das células, como uma propriedade mecânica e permeabilidade à água e tem função de prevenir a integridade da membrana através da síntese e funções da parede celular.

Bélanger et al. (1995), citados por Lima Filho et al. (1999), relatam que as fontes de silício normalmente utilizadas em pesquisa são os metassilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes. O metassilicato de potássio é utilizado na Europa, principalmente por produtores de pepino e roseiras, para o controle de míldio por meio de pulverização foliar.

Segundo Menzies et al. (1992) a aplicação foliar de Si em culturas é potencialmente uma alternativa viável em relação à aplicação pela zona radicular. Este método de aplicação de Si no controle de doenças, segundo os autores, foi reportado somente uma vez. Aleshin et al. (1996), citados pelos mesmos autores, aplicaram metassilicato de sódio (440 mg.L^{-1}) e 1-ethoxysilatan (180 mg L^{-1}) e reduziu o grau de infestação de brusone em cultivares de arroz. Os autores concluíram que aplicações foliares com silicato de potássio, acima de $17,0 \text{ mM Si}$, reduzem o número de colônias de mofo em pepino e cucurbitáceas.

Comercialmente, as escórias básicas de siderurgia, que são silicatos de Ca e Mg, além de poderem ser utilizadas como corretivos do solo devido à sua basicidade, são fontes de Si; os termofosfatos magnesianos (silicofosfatos de magnésio) também caracterizam-se como fontes de silício. Os componentes neutralizantes das escórias são os silicatos de cálcio e magnésio, comportando-se semelhantemente aos calcários, podendo justificar seu uso como corretivo.

A superioridade das escórias em relação aos calcários, em certas situações, é atribuída ao seu conteúdo de micronutrientes, tendo portanto um efeito fertilizante.

As escórias são subprodutos das indústrias siderúrgicas. No processo siderúrgico, o calcário, o minério de ferro e o coque ou carvão são aquecidos em torno de 1.900°C , promovendo a redução do ferro; os silicatos e demais impurezas combinam-se com Ca e Mg do calcário, dando origem à escória (FIRME, 1986). Cerca de 95% da escória é formada pelos óxidos de silício, alumínio, cálcio e magnésio. O enxofre presente na escória é originário do coque. O óxido de manganês vem do minério de ferro, das escórias de retorno e

de outros fundentes. E o óxido ferroso é proveniente da redução incompleta do ferro (GUIMARÃES, 1960).

Na escória são encontrados em alta quantidade Ca, Mg e Si, enquanto que outros elementos como Fe, Mn, Cu, Co, Mo, Zn e B são encontrados em baixos teores, dependendo da fusão e da basicidade da escória (PIAU, 1991). Em relação aos metais pesados, estudos com escórias contendo Al, Ti, Pb, Cr, Ni, Ba, V, Cd e Sr, mostraram que estes metais contidos no solo e nos corretivos não prejudicam a vida vegetativa das plantas nem causam danos ao solo (PIAU, 1995).

Perto de um terço da área do Japão (2,7 milhões de ha) cultivados com arroz são deficientes em silício. A média de aplicação de material silicatado (como subproduto de fornalhas) é de 1,5 a 2,0 t ha⁻¹ (DE DATTA, 1981). Datnoff et al. (1991) aplicaram 0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹ de escória (teor de Si=220 g kg⁻¹), incorporada ao solo antes do plantio do arroz e, observaram que a incidência de brusone e mancha parda foram reduzidas de 73 e 86% para 58 e 75%, aumentando a produção de 56 para 88%.

De acordo com Clements (1946), citado por Piau (1991), a aplicação de silicato na solução do solo causou uma redução significativa de Mn na planta e admitiu que um dos efeitos dos silicatos consiste na redução dos efeitos tóxicos do Mn, Cu, Fe e metais pesados.

4.3 Trocas gasosas

Quando a planta está sujeita a um estresse hídrico, muitos de seus processos fisiológicos são atingidos, como abertura estomática, fotossíntese, síntese de proteínas, atividade enzimática e hormonal. Sendo o arroz uma cultura que apresenta elevada exigência em água por unidade de fitomassa produzida (MACHADO e LAGÔA, 1994), a ocorrência de deficiência hídrica, mesmo que moderada, provoca grande instabilidade na produção, em função dos vários processos fisiológicos direta ou indiretamente atingidos. Dentre estes, os relacionados com as trocas gasosas (CO₂ e vapor de água) são especialmente sensíveis, atingindo diretamente a produção biológica e/ou econômica, em função da época de sua ocorrência (HSIAO, 1972).

De acordo com Farquhar e Raschke (1978), citados por Machado e Lagôa (1994), o acesso de CO_2 atmosférico às células fotossintéticas do mesófilo ocorre através da abertura estomática. Por essa mesma via, entretanto, ocorre perda de água no sentido da superfície interna hidratada da folha para atmosfera. Como a superfície interna da folha é completamente úmida, sendo o gradiente de vapor de água entre a folha e o ar, na maioria dos casos, consideravelmente maior que o gradiente de CO_2 , em geral, o fluxo de água é centenas de vezes maior que o de CO_2 .

Estômatos são pequenas estruturas epidérmicas formadas por duas células estomáticas (células guardas), que delimitam uma fenda (ostíolo), duas ou mais células anexas (acessórias ou subsidiárias) adjacentes e uma câmara sub-estomática, a qual está em conexão com os espaços intercelulares. Através dos estômatos há uma comunicação direta do interior da planta com o ambiente. Se as células adjacentes são morfologicamente diferentes das restantes células da epiderme chamam-se células subsidiárias, se são semelhantes denominam-se células vizinhas, que ajudam as células guardas a controlar a abertura estomática. O conjunto formado pelas células guardas, as subsidiárias e o poro (ostíolo) é denominado complexo estomático.

Segundo Larcher (2000) a quantidade, a distribuição, o tamanho, a forma e a mobilidade do aparato estomático são características de uma espécie, podendo se alterar em função de adaptações às condições locais, podendo variar mesmo de indivíduo para indivíduo. Também está comprovado que, para uma mesma folha, nem todos os aparatos estomáticos estão, ao mesmo tempo, com uma mesma abertura, sobretudo, em situações de estresse ocorre uma forte heterogeneidade na abertura estomática. O fechamento e a abertura estomática são conseqüências da diferença de turgescência entre células-guarda e as células da epiderme adjacentes (células subsidiárias); se a turgescência das células-guarda torna-se maior do que a das células subsidiárias, os estômatos se abrem e, se a situação é inversa, eles se fecham. A turgescência é conseqüência de um processo de osmorregulação ocasionado pelo transporte ativo de íons.

O aparato estomático tem um papel decisivo para a entrada de gases; quando os estômatos estão totalmente abertos, o valor da resistência estomática é mínima à difusão e está em função do tamanho do estômato e da densidade estomática; com o fechamento dos estômatos, a resistência estomática cresce infinitamente. O inverso da

resistência estomática é a condutância estomática, a qual é diretamente proporcional à abertura do poro estomático; a maior abertura que pode ocorrer no poro estomático, a qual depende do formato e das propriedades da parede celular, determina o limite máximo da taxa de influxo de entrada de um gás (LARCHER, 2000).

No interior dos órgãos do vegetal, o vapor d'água origina-se das paredes das células e fica limitado pelos espaços intercelulares. Portanto, nos espaços intercelulares, a água primeiro passa da fase líquida para a fase gasosa e depois escapa para o exterior pelo aparato estomático (transpiração estomática). Por meio da regulação da abertura estomática, a planta é capaz de modular as taxas transpiratorias de acordo com as possibilidades e as necessidades do seu balanço hídrico (LARCHER, 2000). Nas células, os vacúolos estão cheios de água, saturando o protoplasma e as paredes celulares.

Segundo Hirasawa (1995) transpiração vegetal é a perda de água pelas plantas na forma de vapor para a atmosfera, ocorrendo pelas folhas e demais órgãos aéreos. Ela é, entretanto, basicamente um processo que depende da mudança de energia do líquido para o vapor, e do gradiente da pressão de vapor entre as superfícies de evaporação e a atmosfera. A transpiração vegetal e a evaporação são regidas pelos mesmos princípios físicos. A taxa de absorção de água é igual à taxa de transpiração em uma situação de equilíbrio no movimento da água através do sistema solo-planta-atmosfera, que deve ser visto como um continuum. Todavia, a transpiração vegetal, além de ser influenciada por fatores ambientais ou externos, como a evaporação, também sofre influência de fatores internos condicionados pelas características morfológicas e fisiológicas das plantas.

Para absorver CO_2 , a planta, inexoravelmente, perde água e, quando diminui esta perda, também restringe a entrada de CO_2 . Essa interdependência foi reconhecida há muito tempo e expressa numericamente pela razão global entre assimilação e o consumo de água; a relação entre fotossíntese e transpiração resulta na eficiência do uso da água (EUA). A melhor relação entre absorção de CO_2 e perda de H_2O é alcançada quando os estômatos estão parcialmente fechados. Geralmente, a EUA alcança os maiores valores durante as primeiras horas do período da manhã, quando o ar ainda contém grande quantidade de vapor d'água e há radiação suficiente para atingir a capacidade fotossintética. Nas horas seguintes, a correntes turbulentas de ar promovem a evaporação (LARCHER, 2000).

Em estudo de trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas, Machado e Lagôa (1994) relatam que espécies C3 (arroz e trigo) apresentam valores maiores de eficiência fotossintética do uso de água que a C4 (milho), em todos os níveis de irradiância e valores de condutância estomática, indicando melhor adaptabilidade da C4 na limitação de abertura estomática.

Faria (2000) concluiu, em estudo com silicato de cálcio em dois solos de cerrado, sobre a produção de grãos e a tolerância à falta de água no arroz de sequeiro, que o silicato promoveu aumento na produção de grãos e tolerância à falta de água, sendo que seu efeito sobre a produção de grãos foi maior quando os solos foram submetidos a uma tensão maior de água.

Agarie et al. (1998b) em estudo do efeito do silício na transpiração e condutância foliar em arroz, relataram que a taxa de transpiração da planta inteira foi claramente reduzida pela adição de sílica, sugerindo que esta em combinação com a cutícula, influencia a regulação estomatal pela limitação das condições de água nas células da epiderme, como uma regulação do transporte de água no sistema epidérmico e perda de água do complexo da célula guarda; sugerem ainda que o estômato de folhas de plantas crescidas na ausência de silício abrem em resposta à luz e umidade relativa mais sensivelmente, e fecham em resposta à redução de luz e aumento da umidade relativa menos sensivelmente que o das folhas de plantas crescidas com a adição de silício. Concluíram portanto que a maior transpiração de folhas de plantas crescidas na ausência de silício era devido à abertura inapropriada do estômato em resposta ao estímulo ambiental. Observaram também que, o uso eficiente da água foi sempre maior em folhas de plantas crescidas com a adição de silício que nas crescidas na sua ausência, indicando que transpiração excessiva ocorre em folhas de plantas crescidas na ausência de silício resultante da inapropriada condutância foliar em termos de balanço da produtividade entre água perdida e CO₂ absorvido.

Okuda e Takahashi (1965), citados por Faria (2000), trabalhando com plantas de arroz crescendo em solução nutritiva e medindo a taxa de transpiração em intervalos de tempo durante um período de 2 meses, observaram que o aumento da concentração de Si nas soluções diminuiu a taxa de transpiração, sendo que passou de 5,1 para 3,6 ml/g de peso fresco/24 horas nas soluções nutritivas contendo Si em relação à testemunha. O mesmo autor cita também Silva (1983), que relata que em folhas de cana-de-açúcar ricas em

Si, por meio da polimerização pode ocorrer preenchimento dos espaços interfibrilares, reduzindo o movimento da água através da parede celular, causando economia de água na planta pela diminuição da taxa de transpiração.

4.4 Análise de crescimento

De acordo com Magalhães (1979) a análise de crescimento é um método que descreve as condições morfo-fisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas e se propõe a acompanhar a dinâmica da produção fotossintética, avaliada através do acúmulo de matéria seca. Benincasa (1986) define da mesma forma a análise de crescimento e adiciona que a acumulação de material resultante da fotossíntese líquida, passa a ser o aspecto fisiológico para tal análise; sendo a fotossíntese líquida definida como a diferença entre a bruta, que é aquela resultante da atividade direta dos cloroplastos e o que é consumido pela respiração.

O primeiro passo no desenvolvimento de um procedimento, para analisar o crescimento em termos de acréscimos na matéria seca das plantas, foi realizado por Blackman, em 1919, como relata Watson (1952), sendo essa técnica de investigação conhecida como análise de crescimento. Métodos de obtenção de dados para fins de análise de crescimento de plantas, sob condições normais de cultivo, são em geral simples, consistindo principalmente de medições periódicas de matéria seca (MS) e área foliar (AF) (BRIGGS et al., 1920a).

A análise de crescimento representa o primeiro passo na análise de produção primária, sendo o elo de ligação entre o simples registro da produtividade vegetal e o estudo desta por métodos fisiológicos. Esta técnica pode ser usada para investigar a adaptação ecológica de culturas a novos ambientes, a competição entre espécies, os efeitos de manejo e tratamentos culturais e a identificação da capacidade produtiva de diferentes genótipos (KVET et al., 1971).

Segundo Benincasa (1986) do ponto de vista agrônomo, a análise de crescimento pode ser útil em programas de melhoramento genético, sendo ferramenta indispensável para o melhor conhecimento das plantas como entidades biológicas. Apesar da

complexidade que envolve o crescimento das espécie vegetais, essa técnica ainda é o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o crescimento e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal.

Radford (1967) apresenta revisão das fórmulas utilizadas na análise de crescimento, suas derivações e principais condições para uso, mostrando os principais índices fisiológicos, estimados a partir da variação da matéria seca (MS) e área foliar (AF).

O índice de área foliar (IAF) foi conceituado por Watson (1952) como a área foliar (AF) de uma planta por unidade de área ocupada pela mesma, constituindo-se num índice da eficiência funcional das partes produtivas de um vegetal (HUNT, 1982) ou a capacidade que a cultura tem de explorar o espaço disponível (PEREIRA E MACHADO, 1987).

A taxa de crescimento relativo (TCR) foi introduzida por Blackman (1919), citado por Pereira e Machado (1987), representando a quantidade de material produzido por unidade de material existente, em analogia com a taxa de juros compostos. Briggs et al. (1920a) referem que a TCR não seria constante para o ciclo do vegetal e mediria a eficiência da planta em produzir matéria seca, sendo que em um vegetal haveria uma fase de aumento rápido de peso, seguido por um declínio relativamente contínuo, podendo ainda apresentar um ou mais máximos subsidiários na fase de declínio.

A taxa de crescimento absoluto (TCA) seria a variação, ou o incremento entre duas amostragens, indicando a velocidade de crescimento (BENINCASA, 1986).

O quociente entre a área foliar (AF) e a matéria seca total (MST) é denominado de razão de área foliar (RAF) e foi utilizado em comparações com a taxa de crescimento relativo (TCR), por Briggs et al. (1920a). A RAF é composta da razão de massa foliar (RMF), que indica uma distribuição diferencial dos produtos fotossintéticos entre o crescimento da folha e de outras partes da planta, e da área foliar específica (AFE), que representa as diferenças no espessamento foliar (RADFORD, 1967).

O incremento da matéria seca (MS) por área foliar (AF) na unidade de tempo, foi denominado por Briggs et al. (1920b) como razão foliar unitária, sendo atualmente conhecido como taxa assimilatória líquida (TAL). Este índice da análise de crescimento, que expressa o balanço entre fotossíntese e respiração, de acordo com Watson (1952), é fortemente

influenciado por fatores externos, especialmente as condições climáticas. Segundo Milthorpe e Moorby (1974) esse parâmetro fisiológico diminui com a idade, em função do autossombreamento, com a menor capacidade de fotossíntese das folhas mais novas e efeitos de consumo pela planta, além de um aumento proporcional de respiração dos tecidos.

Segundo Sesták et al. (1971) a duração da área foliar (DAF) é denominada pela integral do índice de área foliar (IAF) com relação ao tempo, que expressa em termos quantitativos quanto tempo a planta mantém sua superfície assimilatória ativa.

O produto da taxa assimilatória líquida (TAL) versus razão de área foliar (RAF), equiivale-se à taxa de crescimento relativo (TCR) (WATSON, 1952; RADFORD, 1967; BENINCASA, 1986). Entretanto, Wilson et al. (1986) alertam que em certas ocasiões, a TAL ou a RAF podem se tornar dependentes da TCR, necessitando a relação ser invertida.

De acordo com Pereira e Machado (1987) a variação da matéria seca (MS) com o tempo (t) define a taxa de crescimento da cultura (TCC), que representa a capacidade de produção de fitomassa da cultura, isto é, sua produtividade primária.

Portes e Castro Júnior (1991) relatam que as curvas Exponencial Quadrática e Exponencial Cúbica representam o crescimento de plantas de ciclo curto, como arroz e feijão, de forma mais ajustada. Diversos são os trabalhos que indicaram a Exponencial Quadrática como melhor curva para a cultura do arroz, entre eles Carvalho (2000), Santos e Costa (1997) e Oliveira (1995).

5 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em duas etapas, sendo a primeira uma pré-avaliação da adubação foliar, definindo-se a melhor dose e época de aplicação de silício. A segunda etapa constou do experimento propriamente dito.

No primeiro experimento, a cultivar de arroz IAC 202 foi submetida a 4 doses de silício aplicadas via foliar em 5 épocas; já no segundo, a mesma cultivar foi submetida a 2 lâminas de água, 4 doses de silício, e 2 formas de aplicação.

Ambos experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônomicas - *Campus* de Botucatu/UNESP, Estado de São Paulo. Utilizou-se a cultivar de Arroz (*Oryza sativa* L.) IAC 202, uma das mais recomendadas para o sistema de cultivo irrigado por aspersão, com ótima resistência ao acamamento, ciclo médio de 120 dias, florescimento aos 87 DAE, moderadamente suscetível à brusone (*Pyricularia oryzae*), grãos tipo longo fino (agulhinha) e baixa tolerância à toxidez de Fe e Al.

O solo da área experimental, nos dois experimentos, é classificado como Nitossolo Vermelho (Embrapa, 1999), apresentando textura argilosa pelo método do Densímetro de Bouyoucos com 410 g kg⁻¹ de areia total, 510 g kg⁻¹ de argila e 80 g kg⁻¹ de silte.

5.1 Primeiro experimento

No primeiro experimento a cultivar foi submetida a 4 doses de silício aplicadas via foliar em 5 épocas. Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se as características químicas e teores de micronutrientes do solo do experimento, com 8 mg dm^{-3} de Si pelo uso do extrator ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental (primeiro experimento).

pH	M.O. CaCl ₂ g dm ⁻³	Presina ----- mg dm ⁻³ -----	S-SO ₄ -----	Al ³⁺ -----	H+Al	K	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	SB	CTC	V%
4,3	29	11	20	7	81	1,9	11	5	18	97	19

Tabela 2 – Teores de micronutrientes do solo da área experimental (primeiro experimento).

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
-----mg dm ⁻³ -----				
0,27	6,5	38	6,2	1,2

5.1.1 Tratamentos

O primeiro experimento foi instalado no ano agrícola 2001/2002, em esquema fatorial em blocos casualizados, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos de 4 doses de silício aplicado via foliar em 5 épocas. As épocas das aplicações foliares foram os estádios fenológicos da cultura, ou seja, no máximo perfilhamento, ponto de diferenciação floral, emborrachamento, florescimento e maturação. A fonte de silício utilizada foi metassilicato de sódio, nas doses de 0, 20, 40, 60 mM L⁻¹ de Si, com base no trabalho de Menzies et al. (1992), o que equivale a 0, 0,56, 1,12 e 1,68 g L⁻¹ de Si. Após o preparo das soluções adicionava-se óleo mineral do grupo químico dos hidrocarbonetos (Triomax – 630 g L⁻¹) na dose de 250 ml 100L⁻¹ de calda, para melhora da aderência e absorção, corrigindo

posteriormente o pH da solução para 5,5 com ácido acético e/ou hidróxido de sódio. A aplicação da solução foi efetuada com bicos cônicos TXVS 3, vazão de 130 L ha⁻¹.

5.1.2 Adubação

Realizou-se a adubação de plantio com 540 kg ha⁻¹ da fórmula 04-14-08. Foi aplicado calcário em cobertura uma semana após o plantio, para elevação a 60% da saturação por bases.

5.1.3 Semeadura

Primeiramente foi aplicado Glifosate (Roundup – 360 g L⁻¹) na dose de 5,0 L ha⁻¹ na vegetação natural para o plantio do Milheto no dia 11/10/2001 com data de emergência em 23/10/2001; aos 50 DAE este foi dessecado com Glifosate (Roundup – 360 g L⁻¹) na dose de 5,0 L ha⁻¹ para o plantio do arroz. A semeadura do arroz foi realizada mecanicamente, no sistema de plantio direto, no dia 11/12/2001, a uma densidade de 200 sementes viáveis/m², no espaçamento de 0,45m entre linhas e densidade na linha de 97,5 sementes viáveis/metro linear, à uma profundidade de 3 a 5 cm. As sementes apresentaram poder germinativo de 80%. O dia 20/12/2001, quando 50% das plântulas de arroz tinham emergido, foi considerado como o dia da emergência. Cada parcela foi constituída de 6 linhas de 4,0 m de comprimento. Foram desprezadas 2 linhas externas e 0,50m de cada extremidade, obtendo-se uma parcela de área útil de 5,4 m².

5.1.4 Irrigação

A irrigação seria efetuada toda vez que a tensão de água no solo atingisse 35,5 kPa (Crusciol, 1995), elevando-se a umidade até a capacidade de campo. No entanto, devido aos altos índices pluviométricos, só houve necessidade de suplementação da irrigação uma única vez, no término do experimento.

Foi montado um sistema de irrigação por aspersão convencional, composto por duas linhas laterais espaçadas entre si de 18m. Cada linha lateral possuía 4 aspersores do modelo ZE –30D da Asbrasil, no espaçamento de 18m.

5.1.5 Tratos culturais

5.1.5.1 Controle de plantas daninhas

Aos 15 DAE aplicou-se Propanil + 2,4D (Herbanil 368 – 340 g L⁻¹ + 28 g L⁻¹) em pós-emergência na dose de 8,0 L ha⁻¹. Durante a condução da cultura foram realizadas capinas para manter a lavoura no limpo.

5.1.5.2 Adubação em cobertura

Foram realizadas adubações em cobertura durante o período do ensaio. A primeira foi feita aos 30 dias após a emergência das plântulas, ou seja, no perfilhamento (fase vegetativa), com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. A segunda foi realizada na fase reprodutiva, entre o ponto de algodão e o emborrachamento, com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia.

5.1.5.3 Controle de Pragas

Aos 25 DAE foi aplicado o fungicida Tebuconazole (Folicur PM– 250 g kg⁻¹) na dose de 1,0 L ha⁻¹ para controle curativo e preventivo da mancha parda ou helminthosporiose (*Helminthosporium oryzae*) e brusone (*Pyricularia oryzae*). Durante a condução da cultura foi utilizado Sulfluramida (Mirex-S – 0,3% p/p) para controle de formigas, quando necessário.

5.1.6 Variáveis avaliadas

No primeiro experimento foi realizada análise química do tecido vegetal no pleno florescimento e na maturação somente para o silício, foram avaliados os componentes da produção e a produtividade de grãos.

5.1.6.1 Análise química de tecido vegetal

Foi realizada a análise química para diagnose foliar. A coleta foi feita no início do florescimento quando 50% das panículas estavam visíveis, coletando-se no mínimo 50 folhas bandeiras, conforme Raij et al. (1996). A determinação do silício seguiu técnica descrita por Elliott e Snyder (1991), adaptada por Korndörfer et al. (1999a). Tal técnica consiste em pesar 100g da amostra (tecido foliar) e colocar em tubo de plástico para digestão, acrescenta-se 2 ml de H_2O_2 (30 ou 50%) mais 3 ml de NaOH (1:1); depois de agitados os tubos são colocados na autoclave por um período de 1 h a 123°C e 1,5 atm. de pressão, adiciona-se 45 ml de água destilada e deixa o material em repouso para a deposição dos resíduos. Após a digestão, a determinação de silício é feita colorimetricamente separando-se uma alíquota de 5 ml adicionando 15 ml de água destilada mais 1 ml de HCl (1:1 ou 50%) mais 2 ml de molibdato de amônio, agita levemente; depois de 5 a 10 minutos, adiciona-se 2 ml de ácido oxálico e agita levemente; após 2 minutos a leitura é feita em fotocolorímetro no comprimento de onda de 410 nm. A determinação dos macro e micronutrientes seguiu técnica descrita por Bataglia et al. (1983). No estágio da maturação, próximo à colheita, foi realizada outra determinação do silício.

5.1.6.2 Componentes da produção

5.1.6.2.1 Número de colmos / m²

Contagem do número de colmos contidos em 1,0m de fileira e calculado para 1 m².

5.1.6.2.2 Número panículas / m²

Contagem do número de panículas contidas em 1,0 m de fileira e calculado para 1 m².

5.1.6.2.3 Perfilhamento útil

Determinado através da relação: número de panículas/ m² pelo número colmos/ m², multiplicada por 100.

5.1.6.2.4 Número espiguetas / panícula

Contagem do número de espiguetas de vinte panículas.

5.1.6.2.5 Número espiguetas granadas e chochas por panícula

Contagem do número de granadas e chochas de vinte panículas, após a separação das mesmas através do fluxo de ar.

5.1.6.2.6 Porcentagem de espiguetas granadas

Determinada a partir da relação: número espiguetas granadas/panícula pelo número total de espiguetas/panícula, multiplicado por 100.

5.1.6.2.7 Massa 1000 grãos

Determinado através da coleta ao acaso e da pesagem de oito amostras de 100 grãos (13% base úmida), conforme Brasil (1992).

5.1.6.3 Produtividade de grãos

Foi determinada por meio de colheita mecânica no dia 24/04/2002, quando os grãos de dois terços superiores de 90% das panículas apresentaram-se duros e os do terço inferior semi-duros. Foi realizada a pesagem dos grãos e os dados transformados em kg ha⁻¹ (13% base úmida).

5.1.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados conforme Gomes (1984), submetendo-se à análise de variância, para a obtenção do teste F para tratamentos. A comparação foi realizada pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Nos componentes da produção, as variáveis expressas em número foram transformadas em $(x)^{1/2}$, sendo que as expressas em porcentagem foram transformadas em arcoseno $(x/100)^{1/2}$. Utilizou-se o programa Estat.

5.2 Segundo experimento

No segundo experimento a cultivar de arroz IAC 202 foi submetida a 2 lâminas de água, 4 doses de silício, e 2 formas de aplicação. Nas Tabelas 3 e 4 encontram-se as características químicas e teores de micronutrientes do solo do experimento, com $2,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de Si, pelo uso do extrator cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$.

Tabela 3 - Características químicas do solo da área experimental (segundo experimento).

PH	M.O.	Presina	S-SO ₄	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ₂	g dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----	-----	-----	-----	mmol _c	dm ⁻³	-----	-----	-----	-----
5,2	21	29	24	1	64	2,0	36	22	60	124	48

Tabela 4 – Teores de micronutrientes do solo da área experimental (segundo experimento).

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
-----mg dm ⁻³ -----				
0,16	4,5	20	6,3	0,8

5.2.1 Tratamentos

O experimento foi conduzido em parcelas sub-subdivididas, sendo as parcelas constituídas por 2 lâminas de água (irrigado e sequeiro), as sub-parcelas por aplicação ou não de Si via foliar e as sub-subparcelas por 4 doses de silício no solo, com 4 repetições. A aplicação foliar foi efetuada com metassilicato de sódio na dose de 40 mM L^{-1} de Si na época do ponto de diferenciação floral, definido na primeira etapa do projeto. Para o tratamento irrigado, a aplicação de Si foliar foi aos 61 DAE, já para o sequeiro foi aos 69 DAE, devido às diferenças no ciclo da cultura. A fonte de silício aplicado no solo foi uma escória de indústria de aço inox, denominada Recmix, nas doses de 0, 300, 600 e 900 kg ha^{-1} de Si, com base em trabalhos de Carvalho (2000), Korndörfer et al. (1999b), Datnoff et al. (1991), Anderson et al. (1992), Deren et al. (1994). Os materiais foram aplicados e incorporados ao solo 19 dias antes da semeadura, na profundidade de 0 até 20 cm. Foi feito balanceamento das parcelas com

calcário magnesiano para eliminar o efeito do pH provocado pela adição da escória. Na Tabela 5 encontram-se as características do Recmix e do calcário. Uma das lâminas de água utilizada foi a precipitação pluvial, ou seja, cultivo sob condições de sequeiro, e a outra fornecida através de irrigação suplementar por aspersão.

Tabela 5 – Características do Recmix e do calcário magnesiano.

Fontes	SiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Mo	Zn	PN
	-----g kg ⁻¹ -----					-----μg g ⁻¹ ----					%
Recmix	230	380	100	4,2	2,0	3,7	110	18	0,4	0,133	100
Calcário	—	340	100	0,4	1,7	—	—	—	—	—	85

5.2.2 Adubação

De acordo com o resultado da análise química do solo (Tabelas 3 e 4), realizou-se a adubação de plantio com 300 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16. Foi aplicado 4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico 4 meses antes do plantio.

5.2.3 Semeadura

A semeadura do arroz foi realizada mecanicamente no sistema convencional, no dia 07/01/2003, à uma densidade de 370 sementes viáveis/m², no espaçamento de 0,30m entre linhas e densidade na linha de 111 sementes viáveis/metro linear, à uma profundidade de 3 a 5 cm. As sementes apresentaram poder germinativo de 76%. O dia 16/01/2003, quando 50% das plântulas de arroz tinham emergido, foi considerado como o dia da emergência. Cada parcela foi constituída de 7 linhas de 5,0 m de comprimento. Foram desprezadas 2 linhas externas e 0,50m de cada extremidade, obtendo-se uma parcela de área útil de 6,0 m².

5.2.4 Irrigação

A lâmina fornecida através da irrigação por aspersão foi baseada no coeficiente de cultura (K_c) apresentado por Reichardt (1987) para a cultura do arroz de sequeiro, com algumas adaptações que resultaram na lâmina utilizada, conforme Crusciol (1998):

- fase vegetativa = K_c de 0,4
- fase do ponto de algodão = K_c de 0,7 por 11 dias
- K_c de 1,0 por 8 dias
- fase do emborrachamento = K_c de 1,3 por 8 dias
- fase de início da emergência da panícula = K_c de 1,0 por 8 dias
- K_c de 0,7 até o término da irrigação

A curva característica de retenção de água do solo apresentou umidade, em base de peso, na capacidade de campo de 25,88%, correspondente à tensão de 10 kPa e no ponto de murcha permanente de 19,59%. A densidade do solo da área experimental foi de $1,26 \text{ g cm}^{-3}$. A profundidade efetiva do sistema radicular foi considerada como sendo de 20 cm. A capacidade de água disponível (CAD), em mm, foi calculada segundo a expressão: $CAD = (\mu_{cc} - \mu_{pmp}) \times \delta_a \times PESR$, onde:

μ_{cc} = umidade, base de peso, correspondente ao solo na capacidade de campo (g g^{-1}),

μ_{pmp} = umidade, base de peso, correspondente ao solo no ponto de murcha permanente (g g^{-1}),

δ_a = densidade do solo (g cm^{-3}),

PESR = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Portanto, a CAD foi de :

$$CAD = (2,588 - 1,959) \times 1,26 \times 20 = 15,85 \text{ mm}$$

O momento da irrigação foi definido em função da evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura, sendo realizada pela seguinte expressão: $ET_m = K_c \times ET_o$, onde:

ET_m = Evapotranspiração máxima da cultura (mm/dia),

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm/dia),

K_c = Coeficiente de cultura.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada pela expressão:

ET_o = K_p x ECA, onde:

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm/dia),

ECA = Evaporação do Tanque Classe A (mm/dia),

K_p = Coeficiente do Tanque Classe A.

A evaporação de água (mm) foi obtida diariamente do Tanque Classe A e o coeficiente do Tanque Classe A (K_p) utilizado foi o proposto por Doorenbos e Pruitt (1976), o qual é função da área circundante, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

A irrigação foi realizada por um sistema de aspersão convencional, composto por duas linhas laterais espaçadas entre si de 12m. Cada linha possuía 4 aspersores Naan modelo 427 com ângulo ajustado a 180° e 1 aspersor Naan modelo 427 com ângulo ajustado a 90°, no espaçamento de 12m. O bocal dos aspersores era de 2,8mm, os quais resultaram em uma precipitação de 6,25mm h⁻¹ para 180° e de 12,5mm h⁻¹ para 90° quando sujeitos à carga hidráulica de 20mca.

Em cada linha lateral foi colocado um registro separando o aspersor de ângulo menor. No momento da irrigação o registro permanecia fechado irrigando a cultura somente com os aspersores de 180°, após metade do tempo total de irrigação os registros eram abertos e a irrigação se efetuava com todos os aspersores funcionando até completar o tempo de irrigação. Na Figura 1 pode ser observado o croqui do projeto de irrigação deste segundo experimento.

A irrigação era realizada quando a cultura tinha consumido 45% da CAD, elevando-se a umidade para o valor equivalente à CC na camada de 0-20 cm. Sendo a CAD de 15,85mm, a lâmina a ser repostada ao se consumir 45% da CAD equivale a 7,1mm. Considerando uma eficiência de aplicação de 90%, a lâmina bruta aplicada foi de 7,9mm. O tempo de irrigação foi obtido dividindo-se a lâmina de irrigação pela precipitação do aspersor.

Os dados climáticos de temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação pluvial foram obtidos da estação meteorológica da Fazenda Experimental Lageado, e assim como um balanço hídrico simplificado estão apresentados no Apêndice, além dos momentos em que foram realizadas as irrigações.

BLOCO A BLOCO B BLOCO C BLOCO D

Foliar Não Foliar

Dose 1							
Dose 2							
Dose 3							
Dose 4							

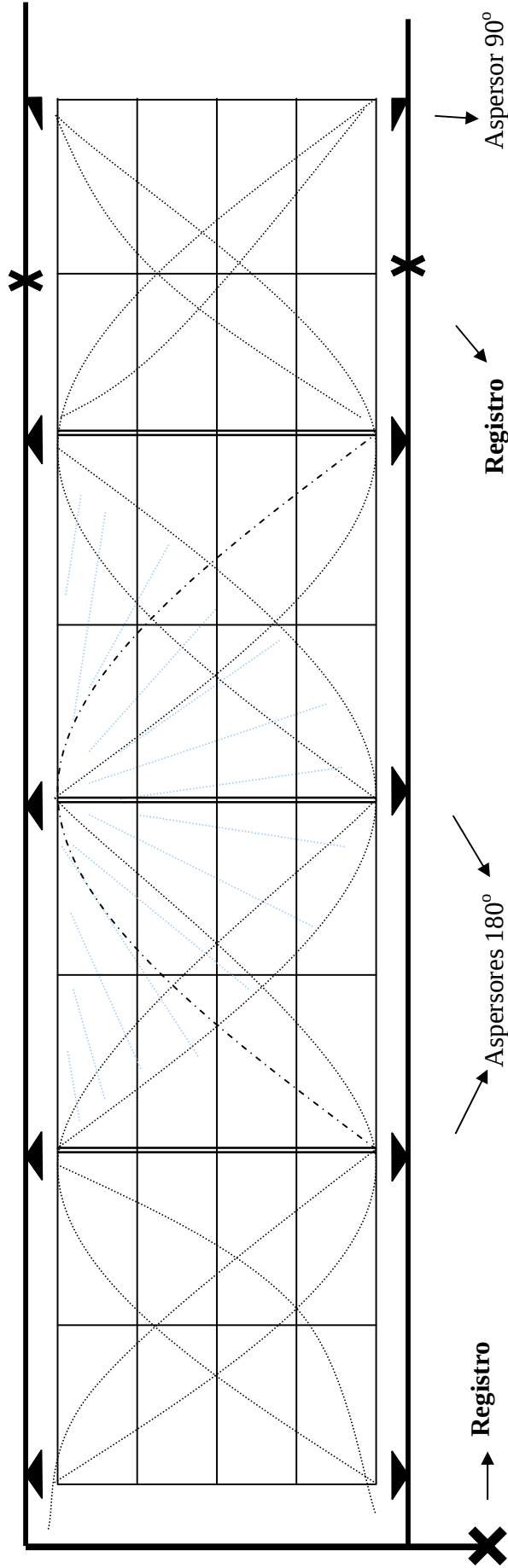


Figura 1 – Croqui do projeto de irrigação instalado na área do segundo experimento.

5.2.5 Tratos culturais

5.2.5.1 Controle de plantas daninhas

Após o plantio foi aplicado Glifosate (Roundup – 360 g L⁻¹) na dose de 4,0 L ha⁻¹. Durante a condução da cultura foram realizadas capinas manuais para manter a lavoura no limpo.

5.2.5.2 Adubação em cobertura

Foram realizadas três adubações em cobertura. A primeira foi feita aos 14 DAE com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio. A segunda foi realizada aos 39 DAE com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. No ponto de algodão, aos 62 DAE, foi realizada outra adubação nitrogenada em cobertura com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia.

5.2.5.3 Controle de Doenças

Realizaram-se seis pulverizações semanais, uma vez por semana, com Benomyl (Benlate – 500 g kg⁻¹) na dose de 1,0 kg ha⁻¹ para controlar a incidência de brusone (*Pyricularia oryzae*) e Chlorothalonil (Daconil – 500 g L⁻¹) na dose de 2,5 L ha⁻¹ para controlar a incidência de mancha-parda ou helminthosporiose (*Helminthosporium oryzae*), com exceção da segunda aplicação que foi feita somente com Daconil, iniciando-se aos 61 DAE e estendendo-se até 98 DAE.

5.2.5.4 Controle de Pragas

No início do ciclo da cultura foi aplicado Sulfluramida (Mirex-S – 0,3% p/p) para controle de formigas. Foram realizadas duas pulverizações, aos 85 e 90 DAE, com Deltamethrine (Decis – 25 g L⁻¹), a primeira na dose de 100 ml ha⁻¹ e a segunda na dose de 200 ml ha⁻¹ para o controle da lagarta da folha (*Spodoptera frugiperda*).

5.2.6 Variáveis avaliadas

Foi realizada análise química do solo e análise química do tecido vegetal, determinação dos componentes da produção (já descrito no item 5.1.6.2), avaliação de incidência de manchas foliares, avaliação da produtividade de grãos, análise quantitativa de crescimento da planta e medições de trocas gasosas.

5.2.6.1 Análise química do solo

Após 48 dias da incorporação dos materiais, foi realizada uma amostragem de solo, para fins de análise química, sendo a extração de fósforo, cálcio, magnésio e potássio com resina trocadora de íons, a determinação do pH em solução centimolar de cloreto de cálcio, determinação da matéria orgânica pelo método Walkley-Black e determinação da acidez potencial através da solução tampão SMP, conforme técnicas descritas por Raij e Quaggio (1983). As determinações de zinco, cobre, ferro e manganês foram realizadas por DTPA-TEA (CAMARGO et al., 1986). O boro foi determinado pelo método do cloreto de bário-microondas (ABREU et al., 1994). O silício solúvel no solo foi determinado colorimetricamente seguindo técnica descrita por Korndörfer et al. (1999a), porém com mudança no extrator de ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Segundo Camargo et al. (2003), em solos argilosos que receberam calcário recentemente o ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ superestima a quantidade de silício disponível, sendo necessário utilizar o extrator cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ que apresenta valores reduzidos de silício disponível, pois os altos valores de matéria orgânica nestes solos que, pelo efeito da calagem, podem mineralizar parte dela e liberar ácidos orgânicos que podem complexar as formas de silício. Portanto a técnica consistiu em 100 ml de cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ adicionados em um frasco de plástico que continha 10 g de solo e agitado por uma hora. Após 15 minutos de decantação a suspensão foi filtrada e deixada em repouso por 12 hs. A determinação do Si no extrato foi feita misturando-se 10 ml do extrato com 1 ml de solução sulfo-molibdídica 7,5% (7,5 g de molibdato de amônio + 10 ml de ác. sulfúrico 9 mol L^{-1} em 100 ml). Após 10 minutos foram acrescentados 2 ml de solução ácido tartárico 20% e, após 5 minutos,

adicionaram-se 10 ml de solução de ácido ascórbico 0,3%. Depois de uma hora, foi feita a leitura do Si em espectrofotômetro e no comprimento de onda de 660 nm.

5.2.6.2 Análise química de tecido vegetal

Foi realizada a análise química para diagnose foliar e silício. A coleta foi feita no início do florescimento quando 50% das panículas estavam visíveis, coletando-se no mínimo 50 folhas bandeiras, conforme Raij et al. (1996). A determinação dos macro e micronutrientes seguiu técnica descrita por Bataglia et al. (1983). No estágio da maturação, próximo à colheita, foi realizada outra determinação do silício, na palhada. Devido à incidência de manchas foliares foi realizada determinações de silício nas folhas bandeiras e nas panículas da última coleta da análise de crescimento. A determinação do silício seguiu técnica descrita por Elliott e Snyder (1991) adaptada por Korndörfer et al. (1999a), sendo descrita no item 5.1.6.1.

5.2.6.3 Incidência de manchas foliares

Devido a ocorrência de brusone (*Pyricularia oryzae*) e mancha-parda ou helminthosporiose (*Helminthosporium oryzae*) foram realizadas avaliações para verificar o efeito do silício na resistência da planta de arroz às doenças fúngicas. No início a intensidade das manchas era pequena, sendo que aos 44 DAE foi feita a primeira avaliação de brusone, sendo sua quantificação realizada através de escala diagramática que avalia a severidade da doença em % da área de tecido lesionada, conforme Azevedo e Leite (1996). Foram avaliadas 35 folhas da mesma idade de cada parcela. A princípio optou-se por não pulverizar a cultura com fungicidas para verificar se a aplicação foliar de silício apresentaria efeito no controle destas doenças, porém a severidade da doença foi aumentando e foram feitas pulverizações semanais com fungicidas devido ao risco de prejudicar o objetivo do experimento.

No final do ciclo da cultura, mais precisamente na última coleta da análise de crescimento foi feita quantificação da incidência de brusone no pescoço da panícula, através da avaliação da porcentagem de panículas infectadas.

5.2.6.4 Produtividade de grãos

Foi determinada através da colheita mecânica no dia 22/05/2003 para os tratamentos que receberam irrigação, e no dia 03/06/2003 para os que permaneceram em condições de sequeiro. A colheita foi efetuada quando os grãos de dois terços superiores de 90% das panículas apresentarem-se duros e os do terço inferior semi-duros. Foi realizada a pesagem dos grãos e os dados transformados em kg ha^{-1} (13% base úmida). Na Tabela 6 está demonstrado o ciclo da cultura para cada tratamento de disponibilidade de água, entre semeadura e colheita, assim como o dia do florescimento.

Tabela 6 – Dias após semeadura para florescimento e colheita da cultura do arroz em função da disponibilidade de água.

	Florescimento (dias)	Colheita (dias)
Irigado	98 ou 89 DAE	135
Sequeiro	105 ou 96 DAE	147

5.2.6.5 Análise quantitativa de crescimento

Foi realizada a análise de crescimento funcional, sendo a equação empregada, usada para obtenção dos índices, a Exponencial Quadrática. Tal análise foi realizada com 5 amostragens, nos diferentes estádios fenológicos da cultura (máximo perfilhamento, ponto de diferenciação floral, emborrachamento, florescimento e maturação). Devido ao tratamento de lâmina d'água o ciclo da cultura nas duas lâminas foi diferente, sendo que o do sequeiro foi maior, com atraso no ponto da diferenciação floral. Para o tratamento de sequeiro a 1ª coleta foi realizada aos 48 dias após a emergência (DAE) das plântulas; a 2ª coleta foi realizada aos 68 DAE; a 3ª aos 84 DAE; a 4ª aos 96 DAE e a 5ª aos 130 DAE. Já para o tratamento irrigado a 1ª coleta foi realizada aos 48 dias após a emergência (DAE) das plântulas; a 2ª coleta foi realizada aos 62 DAE; a 3ª aos 82 DAE; a 4ª aos 89 DAE e a 5ª aos 116 DAE.

5.2.6.5.1 Medidas biométricas

Foram coletadas as plantas contidas em 0,40m de linha, deixando-se como bordadura interna entre coletas 0,25m e uma linha na entrelinha. Separou-se 10 plantas ao acaso para determinar a altura da planta (cm), medindo-se a distância do colo da planta até o ápice, sendo apresentada através da média das 5 amostragens.

À cada coleta foi realizada a leitura da área foliar do limbo (lâmina foliar) no medidor de área foliar eletrônico modelo LI-3100 da LI-COR (Nebraska), pela amostragem de 20 folhas. Após essa determinação as folhas foram secas, e por comparação com a matéria seca total das folhas foi encontrada a área foliar total. A planta foi separada em: folha (limbo), colmo + bainha e panícula. Foi determinada a massa da matéria seca das devidas partes. A matéria seca de cada órgão foi obtida quando estes foram submetidos à secagem a 60°C em estufa com circulação de ar forçada, até atingir massa constante.

Também a cada coleta foi contado o número de perfilhos por metro linear (NP m^{-1}), dentro de 2m de linha previamente demarcados. Em cada amostra foi contado o número de perfilhos, conforme Portes et al. (2000).

As massas secas da folha, colmo + bainha e a total (somatório: folha, colmo+bainha, panícula) foram estimadas utilizando-se a equação:

$$\text{MS} = (\text{NP m}^{-1} \times \text{MS amostra}) / (\text{espaçamento (m)} \times \text{perfilho amostra}^{-1}) \quad (1)$$

5.2.6.5.2 Índices fisiológicos

A partir das medidas biométricas, foram calculados os índices fisiológicos, os quais refletem as condições morfo-fisiológicas da planta durante seu ciclo ontogenético, de acordo com o proposto por Radford (1967). Foi efetuada análise Funcional, através do programa ANACRES (PORTES e CASTRO JÚNIOR, 1991). As unidades dos índices fisiológicos seguiram as normas do Sistema Internacional de Unidades, conforme Salisbury (1991).

5.2.6.5.2.1 Índice de área foliar (IAF)

Foi idealizado por Watson (1952). É a relação entre a área foliar total e a área de solo sombreada pelas folhas. Considerando-se que a projeção da folhagem varia ao longo do dia, em função do movimento relativo Terra-Sol, este índice é praticamente impossível de ser determinado. Desta forma, este parâmetro foi avaliado a partir da relação entre a área foliar (AF) e área de solo disponível para a planta (S), a qual é definida pelo espaçamento estabelecido (Benincasa, 1988). Expresso por $m^2 m^{-2}$.

$$IAF = AF/S \quad (2)$$

Como o arroz perfilha o IAF foi estimado de acordo com a equação:

$$IAF = (NP \text{ m}^{-1} \times AF \text{ amostra (cm}^2)) / (\text{espaçamento (m)} \times \text{perfilho amostra}^{-1} \times 10.000) \quad (3)$$

5.2.6.5.2.2 Duração da área foliar (DAF)

O crescimento vegetal é influenciado pelo tempo em que a planta mantém ativa sua superfície foliar. Esta característica é definida pela duração de área foliar. Conforme Sesták et al. (1971) a duração da área foliar (DAF) é denominada pela integral do índice de área foliar (IAF) com relação ao tempo, que expressa em termos quantitativos quanto tempo a planta mantém sua superfície assimilatória ativa. Expressa em $m^2 m^{-2} \times \text{dia}$.

$$DAF = \int_1^2 IAF dt \quad (4)$$

5.2.6.5.2.3 Taxa de crescimento da comunidade (TCC)

É a quantidade de matéria seca que a comunidade conseguiu acumular ao longo do tempo, de acordo com Pereira e Machado (1987) é a produtividade primária da cultura. Sendo expressa em $kg m^{-2} \times \text{dia}$.

$$TCC = TAL \times IAF \quad (5)$$

5.2.6.5.2.4 Taxa assimilatória líquida (TAL)

Reflete a eficiência do sistema assimilador envolvido na produção de matéria seca, estimando a fotossíntese líquida (Boaro, 1986). É definida pela relação:

$$TAL = (MST2-MST1/AF2-AF1) \times (\ln AF2 - \ln AF1 / t2-t1) , \text{ em que:} \quad (6)$$

MST = matéria seca total, em kg

AF = área foliar, em m²

t= tempo, entre coletas, em dias ou semanas

A taxa assimilatória líquida é expressa em kg m⁻² x dia ou semana.

5.2.6.5.2.5 Área foliar específica (AFE)

Segundo Radford (1967) representa as diferenças no espessamento foliar. O cálculo da AFE segundo Magalhães (1979), foi definido como a razão entre a área das folhas (AF) e a matéria seca das mesmas (MSF). Expressa em m² kg⁻¹.

$$AFE = AF/MSF \quad (7)$$

5.2.6.6 Medições das trocas gasosas

As medidas de trocas gasosas foram realizadas com sistema aberto portátil de fotossíntese, com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infra-vermelha (*"Infra Red Gas Analyser – IRGA"*, modelo LI-6400, LI-COR). Este equipamento mede a diferença entre a concentração de CO₂ e vapor d'água do ar, ao sair das câmaras denominadas amostra (onde está inserida a folha) e referência (sem folha), obtendo-se as concentrações de CO₂ e de vapor d'água que foram assimilados (assimilação de CO₂) e liberados (transpiração de vapor d'água) pelos estômatos da folha, respectivamente. O equipamento medidor possuía misturador de ar (*"buffer"*; tambor de 5 litros) para homogeneizar e estabilizar as concentrações de vapor d'água e de CO₂ do ar que entravam nas câmaras com os IRGAs. A

concentração de CO₂ do ar que entrava nas câmaras foi ajustada (com auxílio do retirador de CO₂ do ar ou “CO₂ Scruber”- soda lime) para 360 µmolCO₂ mol⁻¹ ar.

Na câmara referência, foi utilizada fonte de luz artificial do tipo LED (“Light Emiting Diodes”) modelo LI-6400-02B, que apresenta um pico principal de intensidade em 670 nm, atingindo máximo de 20 W m⁻² nm⁻¹ e um pico secundário em 465 nm que atingia um máximo de 2 W m⁻² nm⁻¹. Esta fonte de luz foi regulada para fornecer, dentro da câmara amostra, densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA, µmol de fótons m⁻² s⁻¹) semelhante à radiação natural que foi registrada no ambiente externo à câmara, ao longo das medidas, com auxílio de sensor de luz externo (“Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP) Sensor”). Em termos práticos, a fonte de luz interna foi regulada para no mínimo 1200 µmol de fótons m⁻² s⁻¹ variando até 1800 µmol de fótons m⁻² s⁻¹, conforme a variação da radiação externa, sempre superior à saturação de luz verificada para arroz de 800 µmol de fótons m⁻² s⁻¹ segundo Machado et al. (1996). Quando a radiação externa encontrava-se abaixo deste valor de saturação, as medidas não eram realizadas.

Este sistema aberto portátil de fotossíntese, permitiu determinar as seguintes variáveis:

- Taxa líquida de assimilação de CO₂ (A), µmol CO₂ m⁻² s⁻¹,
- Condutância estomática (g), mmol m⁻² s⁻¹,
- Taxa de transpiração (E), mol m⁻² s⁻¹,

Foi calculado a eficiência fisiológica do uso de água (EUA) pela razão da taxa líquida de assimilação de CO₂ e taxa de transpiração (A/E - µmolCO₂ / mmol H₂O).

As medidas de trocas gasosas foram efetuadas sob condições naturais, em dias claros e sem nuvens, e foram realizadas em 1 planta intacta por parcela, sendo duas folhas por planta colocada dentro da câmara, sempre na região mediana da folha mais recentemente expandida. Após o surgimento da folha bandeira foi realizada medições nesta folha. Cada folha permaneceu em equilíbrio dentro da câmara por 1 a 2 minutos, antes do registro dos valores. Tais medições foram realizadas durante todo o ciclo, nos diferentes estádios fenológicos da cultura (máximo perfilhamento, ponto de diferenciação floral, emborrachamento, florescimento e maturação).

5.2.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados conforme Gomes (1984), submetendo-se à análise de variância, para a obtenção do teste F para tratamentos. A comparação foi realizada pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para isto utilizou-se o programa SISVAR e também para a análise de regressão.

A análise de crescimento funcional foi realizada pelo programa ANACRES, conforme as recomendações de Portes e Castro Júnior (1991). De acordo com Carvalho (2000), para a planta de arroz a Exponencial Quadrática se ajusta melhor. Quanto aos índices fisiológicos, Banzatto e Kronka (1989) relatam que não se pode afirmar que essas variáveis, por serem calculadas, obedecem às pressuposições básicas para a realização da análise de variância.

A altura média da planta foi submetida à análise de variância (teste F) e suas médias foram comparadas pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os dados de matéria seca dos diferentes órgãos da planta, com exceção da matéria seca das panículas, foram ajustados pela Exponencial Quadrática, a representa melhor o crescimento da planta de arroz.

Foi realizado para cada dia de medida das trocas gasosas, análise de variância pelo teste F dos dados obtidos, sendo a comparação realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, de acordo com Gomes et al. (1997). Os dados de sequeiro e de irrigado foram analisados separadamente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Primeiro experimento

6.1.1 Análise química do tecido vegetal

As análises foram realizadas a partir da coleta das folhas “bandeiras” no início do florescimento da cultura. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 7 e 8, para os teores de macronutrientes e micronutrientes, respectivamente.

O teor de N na planta, observado na Tabela 7, foi alterado pelos tratamentos, mais precisamente na segunda época de aplicação com a dose de 20 mM L⁻¹ de Si. Elawad e Green (1979) citados por Savant et al. (1997a), relatam que devido ao efeito sinérgico, o Si aplicado tem potencial para aumentar a taxa ótima do N, conseqüentemente ajudando aumentar as produções devido à absorção de N.

Tabela 7 – Análise química de macronutrientes no tecido vegetal do arroz em função da aplicação de doses de silício em diferentes épocas.

Época	Dose (mM L ⁻¹ Si)	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----							
Máximo perfilhamento	0	34,8	2,1 b	16	4,0	2,32	3,0
	20	34,0 b ⁽¹⁾	2,2 b	16	4,1	2,38	3,0
	40	35,8	2,2 b	16	3,7	2,35	3,2
	60	34,8	2,2 bc	16	3,6	2,20	3,0
Média MP		34,8	2,2 b	16	3,8 ab	2,31	3,1 ab
Ponto de diferenciação floral	0	33,5 B	2,1 b	16	3,7	2,10	3,2
	20	38,2 Aa	2,2 b	16	4,0	2,32	2,6
	40	35,5 AB	2,2 b	16	3,5	2,28	3,0
	60	34,8 AB	2,2 bc	16	3,7	2,25	2,8
Média PDF		35,5	2,2 b	16	3,7 b	2,24	2,9 b
Emborrachamento	0	36,8	2,3 b	16	4,0	2,32	3,1
	20	34,0 b	2,2 b	15	4,4	2,58	3,0
	40	36,2	2,1 b	16	3,2	2,08	3,0
	60	35,5	2,1 c	16	3,7	2,20	3,0
Média E		35,6	2,2 b	16	3,8 ab	2,29	3,0 ab
Florescimento	0	34,5	2,2 Bb	16	3,9	2,48	3,1
	20	34,5 ab	2,1 Bb	16	3,8	2,28	3,0
	40	35,0	2,2 Bb	16	3,4	2,12	3,3
	60	35,8	2,4 Aab	16	3,5	2,25	3,1
Média F		34,9	2,2 b	16	3,6 b	2,28	3,1 ab
Maturação	0	35,2	2,6 a	16	4,4	2,40	3,2
	20	33,8 b	2,5 a	16	4,2	2,42	3,3
	40	37,0	2,6 a	16	3,9	2,42	3,2
	60	35,0	2,6 a	16	4,1	2,28	3,4
Média M		35,2	2,6 a	16	4,2 a	2,38	3,3 a
Médias de doses	0	35,0	2,2	16	4,0 AB	2,32 AB	3,1
	20	34,9	2,2	16	4,1 A	2,40 A	3,0
	40	35,9	2,3	16	3,6 C	2,25 AB	3,1
	60	35,2	2,3	16	3,7 BC	2,24 B	3,1
C.V. %		5	5	5	10	8	8

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam doses dentro de cada época e médias de doses. Letras minúsculas comparam épocas dentro de cada dose e médias de épocas.

Pela Tabela 7 observa-se que o teor de P na planta diminuiu com a adição de silício, pois na época da maturação a amostragem das folhas foi realizada antes da aplicação foliar e o teor de P é mais elevado. No florescimento a maior dose se diferenciou das demais, segundo Savant et al. (1997b) o Si melhora a disponibilidade e utilização do P pelas plantas de arroz.

Não houve diferenças no acúmulo de K com a aplicação foliar de silício, porém o teor de Ca na planta diminuiu com a aplicação foliar, pois na época da maturação a amostragem das folhas já tinha sido realizada, sendo que entre as doses a de 40 mM L⁻¹ de Si resultou em maior decréscimo. Já para o Mg a dose de 60 mM L⁻¹ foi a que mais reduziu o teor do nutriente na folha. A aplicação foliar de silício também fez diminuir o teor de S na planta, devido à comparação com a época da maturação (Tabela 7).

Pela Tabela 8, observa-se que os tratamentos não influenciaram os teores de Fe e Mn no tecido vegetal. Comprovando os dados da literatura, como os de Souza e Yasuda (1994), houve aumento na absorção de boro pela planta. Dentre as épocas a que proporcionou maior acúmulo de boro foi a do florescimento e entre as doses foi a de 60 mM L⁻¹ de Si. De acordo com Lewin e Reimann (1969), citados por Cheng (1982), devido às similaridades químicas o Si interfere na absorção ou na utilização do B.

Tanto para o Cu como para o Zn a época de aplicação de silício no máximo perfilhamento fez aumentar o acúmulo destes nutrientes na planta (Tabela 8), ao contrário de Tiller (1967) citado por Cheng (1982) que obteve decréscimo de Zn na planta com a adição de silício.

Tabela 8 - Análise química de micronutrientes no tecido vegetal do arroz em função da aplicação de doses de silício em diferentes épocas.

Época	Dose (mM L ⁻¹ Si)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----mg kg ⁻¹ -----						
Máximo perfilhamento	0	6	12,8	75	499	15,8
	20	10	12,0	72	478	15,5
	40	11	12,5	72	441	15,0
	60	15	11,8	75	398	16,5
Média MP		10 b ⁽¹⁾	12,2 a	74	454	15,7 a
Ponto de diferenciação floral	0	10	11,5	70	544	14,5
	20	10	12,5	88	501	15,8
	40	13	8,8	66	422	14,2
	60	12	10,2	74	498	14,8
Média PDF		12 ab	10,8 ab	74	491	14,8 ab
Emborrachamento	0	14	10,2	74	536	13,2
	20	10	12,0	74	598	13,2
	40	14	12,8	76	440	15,0
	60	16	11,0	72	478	14,2
Média E		13 ab	11,5 ab	74	513	13,9 b
Florescimento	0	12	10,8	79	512	16,0
	20	16	11,8	70	521	15,0
	40	17	10,2	74	463	14,0
	60	14	9,5	72	431	14,0
Média F		15 a	10,6 b	74	482	14,8 ab
Maturação	0	8	12,2	72	588	13,0
	20	10	11,2	68	654	14,8
	40	13	13,2	74	494	14,5
	60	14	11,5	71	540	14,8
Média M		11 b	12,1 ab	72	569	14,2 ab
Médias de doses	0	10 C	11,5	74	536	14,5
	20	11 BC	11,9	74	550	14,8
	40	13 AB	11,5	72	452	14,6
	60	14 A	10,8	73	469	14,8
C.V. %		26	15	12	31	11

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam médias de doses. Letras minúsculas comparam médias de épocas.

6.1.1.1 Análise química de silício no tecido vegetal

Na Tabela 9 estão apresentados os valores de silício no tecido vegetal, tanto no pleno florescimento como na maturação da cultura. Nota-se, com exceção da época do máximo perfilhamento, que pelas médias das épocas os valores de silício da maturação são maiores que os do florescimento, sendo justificável pelo maior tempo de acumulação do elemento. Korndörfer et al. (1999b) recomendam que a análise de silício na planta seja realizada na época da colheita, coletando-se toda a parte aérea do arroz (colmos + folhas), devido à planta acumular silício até o final de seu ciclo. Tanto no florescimento como na maturação a época que apresentou maior acúmulo de silício foi a da maturação, mesmo quando no florescimento o elemento ainda não tinha sido aplicado. A análise feita na maturação também mostrou que a fase do florescimento acumulou silício de forma igual a da maturação. No pleno florescimento a dose que fez acumular mais silício foi a de 20 mM L⁻¹ de Si, sendo que a época da diferenciação floral foi a segunda maior em acúmulo de silício.

Tabela 9 – Análise química de silício no tecido vegetal do arroz no florescimento e na maturação em função da aplicação de doses de silício em diferentes épocas.

Época	Dose (mM L ⁻¹ Si)	Si florescimento ----- g kg ⁻¹ -----	Si maturação -----
Máximo perfilhamento	0	12	10
	20	12 ab ⁽¹⁾	10
	40	10	8
	60	10 abc	10
Média MP		11 abc	9 c
Ponto de diferenciação floral	0	12	14
	20	12 ab	15
	40	11	14
	60	14 a	11
Média PDF		12 ab	14 b
Emborrachamento	0	11	10
	20	11 b	9
	40	7	11
	60	7 bc	15
Média E		9 c	12 bc
Florescimento	0	12 A	20
	20	12 Aab	18
	40	10 AB	18
	60	6 Bc	18
Média F		10 bc	19 a
Maturação	0	10 B	20
	20	17 Aa	16
	40	12 AB	19
	60	12 ABab	20
Média M		13 a	19 a
Médias de doses	0	11 AB	15
	20	13 A	14
	40	10 B	14
	60	10 B	15
C.V. %		26	24

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam doses dentro de cada época e médias de doses. Letras minúsculas comparam épocas dentro de cada dose e médias de épocas.

6.1.2 Componentes da produção

Nas Tabelas 10 e 11 estão apresentados os efeitos dos tratamentos nos componentes da produção da cultura do arroz, que são constituídos pelo número de panículas/m², número de espiguetas/panícula, porcentagem de espiguetas granadas e massa de 1000 grãos. No entanto as Tabelas apresentam outros parâmetros que foram avaliados, os quais são necessários para definir os componentes.

Como pode ser visto na Tabela 10 não houve diferenças estatisticamente significativas quanto ao número de colmos/m², número de panículas/m² e no perfilhamento útil. O número panículas/m² está relacionado à capacidade de perfilhamento da planta, que por sua vez pode aumentar a produção da cultura, sendo definido na planta na sua fase vegetativa. Portanto a partir destes resultados verifica-se que o silício aplicado via foliar não influenciou na fase vegetativa da planta a ponto de aumentar o perfilhamento e, conseqüentemente a produção, ligada a este componente.

Pela Tabela 11 nota-se que não houve diferenças significativas quanto ao número de espiguetas/panícula, número de espiguetas granadas/panícula, número de espiguetas chochas/panícula, porcentagem de espiguetas granadas e massa de 1000 grãos. Portanto a aplicação foliar de Si na planta de arroz não influenciou os componentes da produção.

Tabela 10 – Efeitos de épocas de aplicação e doses de silício nos componentes da produção da cultura do arroz.

Época	Dose (mM L ⁻¹ Si)	Número de colmos/m ²	Número de panículas/m ²	Perfilhamento útil (%)
Máximo perfilhamento	0	252	244	97
	20	219	215	98
	40	224	206	90
	60	231	214	93
Média MP		232	220	94
Ponto de diferenciação floral	0	215	202	94
	20	208	198	96
	40	222	217	97
	60	220	216	98
Média PDF		216	208	96
Emborrachamento	0	214	204	95
	20	238	222	94
	40	226	221	98
	60	267	258	96
Média E		236	226	96
Florescimento	0	207	198	95
	20	220	206	94
	40	266	254	95
	60	211	204	96
Média F		226	216	95
Maturação	0	225	211	94
	20	248	242	98
	40	229	222	98
	60	238	230	96
Média M		235	226	96
Médias de doses	0	223	212	95
	20	227	217	96
	40	233	224	96
	60	233	224	96
C.V. %		12	13	7

Tabela 11 – Efeitos de épocas de aplicação e doses de silício nos componentes da produção da cultura do arroz (continuação).

Época	Dose (mM L ⁻¹ Si)	Número de espiguetas/panícula	Nº espiguetas granadas/panícula	Nº espiguetas chochas/panícula	Porcentagem de espiguetas granadas	Massa de 1000 grãos
Máximo perfilhamento	0	163	134	29	82	23,24
	20	175	144	31	84	23,32
	40	169	139	30	82	22,67
	60	179	140	40	78	22,48
Média MP		172	139	32	82	22,93
Ponto de diferenciação floral	0	154	130	24	84	23,37
	20	185	144	41	78	23,20
	40	188	151	37	80	23,13
	60	190	148	42	80	23,40
Média PDF		179	143	36	80	23,28
Emborracha- mento	0	181	146	35	82	23,55
	20	157	124	32	80	23,12
	40	187	154	34	82	22,90
	60	167	143	24	86	23,13
Média E		173	142	31	82	23,17
Florescimento	0	187	141	46	76	23,02
	20	165	129	36	78	23,25
	40	174	144	31	83	23,32
	60	203	156	48	76	22,64
Média F		182	142	40	78	23,06
Maturação	0	184	146	37	81	22,95
	20	154	130	22	86	23,68
	40	211	163	48	78	22,63
	60	171	145	26	84	22,91
Média M		181	146	33	82	23,04
Médias de doses	0	174	139	34	81	23,23
	20	167	134	32	81	23,32
	40	186	150	36	81	22,93
	60	182	146	36	81	22,91
C.V. %		9	7	24	7	3

6.1.3 Produtividade de grãos

Analisando-se os dados de produtividade da cultura apresentados na Tabela 12, observa-se que as médias das épocas e das doses não diferiram. No entanto pode-se notar que a aplicação foliar de silício no ponto de diferenciação floral aumentou a produtividade, mesmo quando não obteve-se resultados nos componentes da produção.

Como pode ser visto, entre as épocas o ponto de diferenciação floral aumentou a produtividade em aproximadamente 700 kg ha^{-1} de arroz em casca em comparação com a época do máximo perfilhamento, que na prática torna-se uma vantagem para qualquer rizicultor, pois extrapolando-se para a área de cultivo este ganho tem importância econômica. Dentre as doses aplicadas no ponto de diferenciação floral, a que resultou maior acréscimo na produtividade foi a de 40 mM L^{-1} de Si, diferindo estatisticamente da dose 0 mM L^{-1} de Si. Ressalva-se que a aplicação foliar de silício no ponto de diferenciação floral na dose de 40 mM L^{-1} aumentou a produtividade em 1683 kg ha^{-1} quando comparado com a dose 1 (controle) da mesma época (Tabela 12), definindo-se este tratamento como o ideal para ser avaliado no segundo experimento.

Tabela 12 – Efeitos de épocas de aplicação e doses de silício na produtividade de grãos da cultura do arroz.

Época	Dose (mM L ⁻¹ de Si)	Produtividade de grãos kg ha ⁻¹
Máximo perfilhamento	0	5113 A ⁽¹⁾
	20	3677 Bb
	40	4312 ABb
	60	4683 AB
Média MP		4446
Ponto de diferenciação floral	0	4213 B
	20	4948 ABab
	40	5896 Aa
	60	5543 AB
Média PDF		5150
Emborrachamento	0	4762
	20	4831 ab
	40	4536 ab
	60	4263
Média E		4598
Florescimento	0	4697
	20	4562 ab
	40	4348 b
	60	4379
Média F		4497
Maturação	0	5178
	20	5519 a
	40	4986 ab
	60	4388
Média M		5018
Médias de doses	0	4793
	20	4707
	40	4816
	60	4651
C.V. %		16

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam doses dentro de cada época. Letras minúsculas comparam épocas dentro de cada dose.

6.2 Segundo experimento

6.2.1 Análise química do solo

Através dos resultados analíticos das amostras de solo apresentados nas Tabelas 13 e 14, pode-se observar o efeito dos tratamentos em atributos químicos do solo. Os resultados estão sendo apresentados somente para efeito das doses de Recmix aplicado ao solo, pois a amostragem foi realizada antes de se iniciar a diferenciação da lâmina de irrigação (41 DAE) e da aplicação foliar de Si (61 e 69 DAE), com 20 DAE ou 48 dias após a incorporação dos materiais.

Avaliando-se os resultados apresentados na Tabela 13, observa-se que o valor de pH se equilibrou devido à aplicação do calcário. As escórias comportam-se como corretivos da acidez do solo devido aos seus componentes neutralizantes (silicatos de cálcio e magnésio), por isso foi feito balanceamento com calcário para neutralizar o efeito do pH, isolando assim o efeito do silício sobre a planta de arroz. Desta forma, observando os valores de pH, infere-se que o Recmix, pode ser utilizado como corretivo de acidez do solo, devido aos valores entre a dose 0 (máximo calcário) e 900 (sem calcário) serem semelhantes, embora o calcário ter apresentado elevação do pH pouco superior; ao contrário de Barbosa, D. et al. (2003) que obtiveram resultados onde o silicato de Ca e Mg apresentou melhor correção do pH que o calcário até 25 cm de profundidade. Por este ângulo o pH diminuiu com o aumento das doses do Recmix, porém isto só ocorreu devido ao uso do calcário, caso contrário seu efeito seria o de elevar o pH. Carvalho (2000) em estudo de diferentes fontes e doses de silício na cultura do arroz, obteve aumento de pH com aumento das doses empregadas. Em adubação da cana-de-açúcar com cimento tipo Portland (15 % Si total), Korndörfer et al. (2000a) concluíram ser esta uma boa fonte de silício, com aumento da produtividade e elevação do valor de pH com o aumento das doses de cimento empregadas.

O teor de P aumentou com as doses de Recmix aplicado ao solo, principalmente com 300 kg ha⁻¹ de Si. Esta variação pode ocorrer pela competição entre o fosfato e o silicato pelos sítios de adsorção aos colóides, embora Oliveira (1984) relate que o deslocamento do fosfato pelo silicato seja muito pequeno. Baldeón (1995) comenta que o

efeito do silicato no aumento do fósforo disponível ocorre em função da elevação do pH, no entanto observa-se na Tabela 13 valores iguais de pH com teor de P diferente. Smyth e Sanches (1980) constataram redução de 24% na adsorção de P em Latossolo caulinítico do cerrado brasileiro. No entanto, Korndörfer et al. (2000b) não observaram efeito do Si sobre a disponibilidade do P no solo, relatando que o Si se encontra na solução do solo quase inteiramente como molécula simples de ácido monossilícico e que a constante de ionização desse ácido é 9,8, sendo pouco provável que o Si possa alterar a disponibilidade do P quando o pH do solo for $< 7,0$. Embora com baixa concentração (Tabela 5) o Recmix contribui para elevar o nível de P no solo.

Nota-se pela Tabela 13 que a acidez potencial (H+Al) do solo aumentou levemente com a aplicação crescente de Recmix, compatível com o mínimo decréscimo do valor pH.

Tabela 13 – Características químicas de Nitossolo Vermelho em função da aplicação de doses de silício no solo, como Recmix.

Si kg ha ⁻¹	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	H+Al	Al ³⁺	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S-SO ₄ mg dm ⁻³
0	6,3	25	31	22	1	1,7	90	33	125	147	85	33
300	6,3	26	39	21	1	1,9	86	33	121	142	85	33
600	6,2	25	35	23	1	2,0	81	33	115	138	83	32
900	6,1	25	36	26	1	2,0	69	30	101	126	79	34

O teor de K do solo teve um pequeno aumento, mantendo-se em nível médio. O teor de Ca diminuiu com o aumento das doses utilizadas, provavelmente devido ao efeito do calcário promover maior elevação do pH ou fornecer mais Ca que o Recmix. Dados contraditórios foram encontrados por Ramos et al. (2003) onde o silicato foi melhor que o calcário na liberação e movimentação de Ca até 25 cm de profundidade. Barbosa, S. et al. (2003) também verificaram aumento do teor de Ca e pH com aplicação de silicato de cálcio. O teor de Mg manteve-se estável até a dose 600, tendo diminuído quando aplicou-se 900 kg ha⁻¹ de Si (Tabela 13).

A diminuição no teor de Ca refletiu na diminuição da SB e também na da CTC, embora os valores de H + Al tenham aumentado um pouco. Conseqüentemente, os valores da V% tiveram uma leve diminuição, embora insignificante (Tabela 13).

Pela Tabela 13 nota-se que os teores de S no solo se elevaram após a adição de Recmix e calcário, em comparação ao seu teor inicial (24 mg dm^{-3}), devido à elevação do pH. Para a dose de 900 kg ha^{-1} de Si houve um maior aumento do S devido a este elemento ser constituinte da fonte de silício. Piau (1991 e 1995) relatam que escórias enriquecem o solo, aumentando Ca, Mg, S, P, Fe, Zn, Mn e Cu.

Nota-se na Tabela 14, que com o aumento da dose de silício aplicado ao solo o teor de B no solo se elevou, passando de nível médio para alto. Carvalho (2000) em estudo de fontes e doses de silício também obteve aumento do teor de B no solo. O teor de Cu fixou-se em níveis altos no solo, ao contrário de Carvalho (2000) que obteve diminuição do teor de Cu no solo. Os níveis de Fe no solo aumentaram e o teor de Mn passou de médio a alto, aumentando seu teor de acordo com o aumento de silício ao solo, discordando com o relatado por Cheng (1982) que as escórias podem diminuir a solubilidade do Mn e Fe e, também com Pereira (1999) que obteve redução no teor de Fe e principalmente no de Mn. O teor de Zn no solo aumentou com o aumento de Si, Piau (1995) e Carvalho (2000) também obtiveram aumento no teor de Zn. Segundo Prado et al. (2001) a aplicação da escória de siderurgia promove efeito residual favorável na disponibilidade de Fe, Mn, Cu e Zn disponível no solo, com efeito quadrático associado ao valor pH e à saturação por bases, superiores a 6,0 e 72%. É de se considerar a constituição básica do Recmix, que apresenta em sua composição teores de Fe, Mn e Zn.

Tabela 14 - Teores de micronutrientes em Nitossolo Vermelho em função da aplicação de doses de silício no solo, como Recmix.

Dose Si kg ha^{-1}	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg dm^{-3} -----				
0	0,20	6,9	17	3,5	2,9
300	0,22	6,6	17	3,7	2,9
600	0,25	7,3	19	5,0	3,2
900	0,25	7,7	20	5,4	3,3

6.2.1.1 Análise química de silício no solo

Os resultados da análise química de silício no solo estão sendo apresentados somente para efeito das doses de Recmix, pois a amostragem foi realizada antes de se iniciar a diferenciação da lâmina de irrigação (41 DAE) e da aplicação foliar de Si (61 e 69 DAE), com 20 DAE ou 48 dias após a incorporação dos materiais.

Pela Figura 2 observa-se que o teor de silício disponível no solo, extraído com cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, se elevou linearmente com o aumento da dose de Recmix aplicado ao solo. Chagas et al. (2003) concluíram que o Recmix é uma fonte de silício que apresenta boa reatividade no solo, com melhores resultados que a Wollastonita e Ácido Monossilícico.

Conforme Korndörfer et al. (1999c), teor de Si no solo, extraído com ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, inferior à 6 mg dm^{-3} é considerado baixo, enquanto que nível médio varia entre $6\text{-}24 \text{ mg dm}^{-3}$ e alto nível está acima de 24 mg dm^{-3} . Como ainda é recente a utilização do extrator cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, não foi atualizada a classificação do solo quanto ao teor de silício.

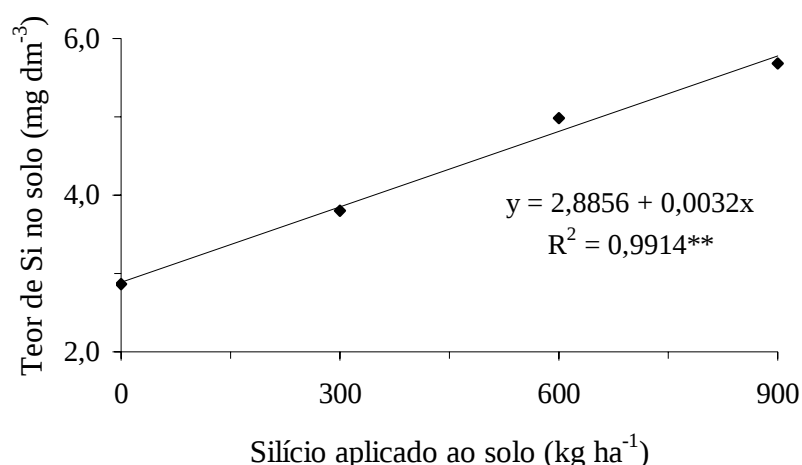


Figura 2 – Teor de silício no solo em função da aplicação de silício ao solo.

6.2.2 Análise química do tecido vegetal

As análises foram realizadas a partir da coleta das folhas “bandeiras” no início do florescimento da cultura. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 15, 16, 17 e 18 para os teores de macro e micronutrientes.

Tabela 15 – Análise química de macronutrientes no tecido vegetal do arroz em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
Lâmina de água						
Sequeiro	32,2 b ⁽¹⁾	2,17 b	18 a	3,9	2,3 b	3,1
Irrigado	34,3 a	2,32 a	15 b	4,4	2,9 a	2,8
Aplicação de Si foliar						
Não Foliar	33,5 a	2,26	17	4,2	2,7	3,1
Foliar	32,9 b	2,23	17	4,1	2,6	2,9
CV(%) Lâmina	4	5	8	19	14	14
CV(%) Foliar	1	5	5	13	15	10
CV(%) Dose	4	4	8	14	8	9

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam médias de lâmina e foliar .

Os teores de N, P e Mg na planta foram maiores no tratamento irrigado; ao contrário dos demais, o teor de K na planta foi maior no tratamento de sequeiro (Tabela 15). Como o N e o Mg são direcionados às raízes das plantas por fluxo de massa e apresentam alta mobilidade dentro da planta, o tratamento irrigado certamente apresentaria maiores valores destes nutrientes nas folhas, pois dependem da quantidade de água absorvida. O teor de P na planta foi maior no tratamento irrigado devido ao elemento apresentar maior mobilidade na planta em maior quantidade de água no sistema planta-atmosfera. O menor teor de K no tratamento irrigado provavelmente deve-se à perdas do elemento por lixiviação, embora a CTC do solo tenha se elevado. Segundo Raij (1981) sais de potássio apresentam em geral alta solubilidade e os teores de K⁺ na solução do solo podem também atingir

concentrações bastante elevadas, conferindo ao potássio uma mobilidade, relativamente maior que a do fósforo permitindo movimentação na forma de sais e lixiviação através do solo.

Pela Tabela 15 nota-se também que, para o N a aplicação foliar de silício diminuiu seu teor na planta, em contraposição Elawad e Green (1979) citados por Savant et al. (1997a), relatam que devido ao efeito sinérgico, o Si aplicado tem potencial para aumentar a taxa ótima do N, conseqüentemente ajudando a aumentar as produções devido à absorção de N. Carvalho (2000) não encontrou diferenças quanto à absorção de N em seu trabalho de fontes e doses de silício. Porém pela Tabela 19, apresentada no próximo tópico, o teor de Si na planta não diferiu com o tratamento foliar, talvez tal efeito tenha ocorrido devido a outro fator da solução de metassilicato de sódio.

Pela Figura 3 nota-se que a medida que aumenta a dose de silício aplicado ao solo diminui o teor de Ca na planta linearmente, provavelmente devido à diminuição do elemento na solução do solo, visto na Tabela 13.

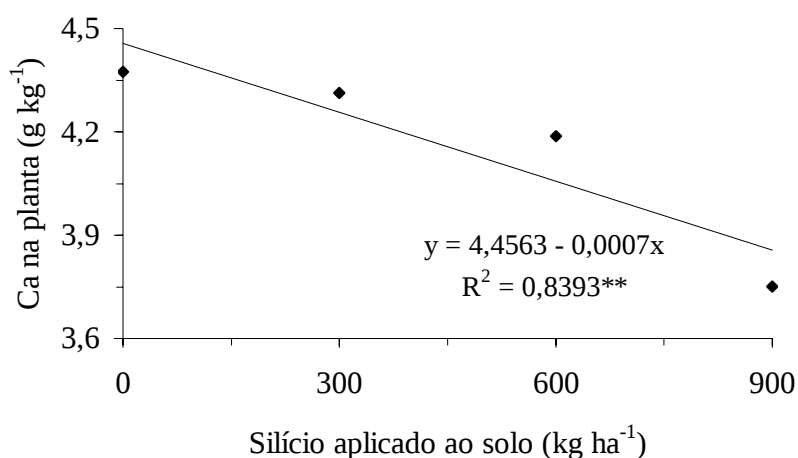


Figura 3 – Teor de Ca na planta em função da aplicação de silício ao solo.

Nota-se pela Tabela 16 que o teor de N nas plantas irrigadas foi maior, fato observado também na Tabela 15, sendo que para o tratamento irrigado a aplicação foliar de silício apresentou menor teor de N na planta, em contraposição com a literatura que relata aumento na absorção de N com aplicação de silício; provavelmente esta interação ocorreu no tratamento irrigado devido às plantas apresentarem maior possibilidade de efeito do tratamento foliar, pois a água no sistema planta é um veículo de transporte. Quando aplicou-se

Si foliar as plantas irrigadas apresentaram maior teor de P na planta. Segundo Savant et al. (1997b) o Si melhora a disponibilidade e utilização do P pelas plantas de arroz, sendo que também a água presente no sistema favoreceu o tratamento foliar. Na Tabela 20, apresentada no próximo tópico, observa-se no tratamento foliar maior teor de Si na planta quando estas foram irrigadas. Como já apresentado na Tabela 15, o teor de K na planta foi maior no tratamento de sequeiro e o de Mg foi maior no irrigado, independente se houve aplicação foliar ou não. O teor de S na planta só teve efeito no tratamento não foliar com o sequeiro elevando o teor acima do irrigado.

Tabela 16 – Interações na análise química de macronutrientes no tecido vegetal do arroz entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água.

	Não Foliar	Foliar
----- N (g kg ⁻¹) -----		
Sequeiro	32,3 b ⁽¹⁾	32,1 b
Irigado	34,8 aA	33,8 aB
----- P (g kg ⁻¹) -----		
Sequeiro	2,19	2,14 b
Irigado	2,28	2,37 a
----- K (g kg ⁻¹) -----		
Sequeiro	19 a	18 a
Irigado	15 b	15 b
----- Mg (g kg ⁻¹) -----		
Sequeiro	2,4 b	2,3 b
Irigado	2,9 a	2,9 a
----- S (g kg ⁻¹) -----		
Sequeiro	3,2 a	3,0
Irigado	2,9 b	2,8

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam foliar dentro de lâmina. Letras minúsculas comparam lâmina dentro de foliar.

Com a irrigação o teor de Ca na planta diminuiu à medida que aumentou o silício aplicado ao solo, já para o tratamento de sequeiro não houve interação significativa (Figura 4). Como visto na Figura 3, isto ocorre provavelmente devido à

diminuição do elemento na solução do solo, sendo que com irrigação há maior reação dos materiais no solo.

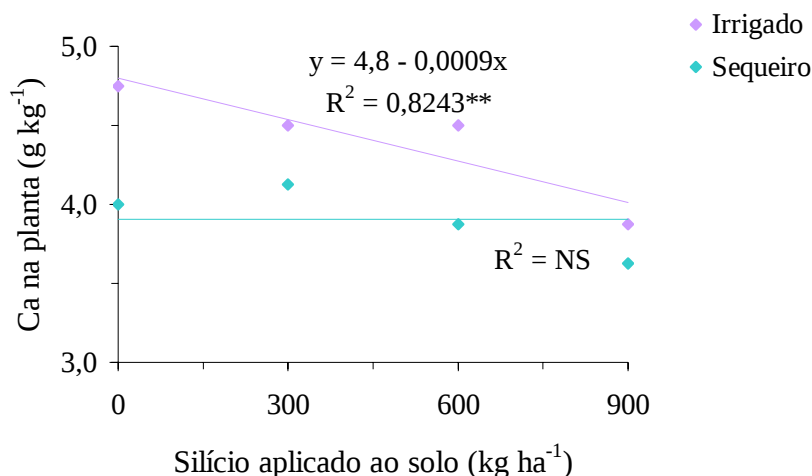


Figura 4 - Teor de Ca na planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.

Quando aplicou-se Si via foliar e à medida que aumentou o silício aplicado ao solo o teor de Ca diminuiu, sendo que a não aplicação foliar não apresentou interação significativa com o silício aplicado ao solo (Figura 5). Contraditoriamente, em arroz sob diferentes doses e fontes de silício, Carvalho (2000) notou aumento do teor de Ca na planta com o aumento do teor de Si na mesma.

Na Figura 6 observa-se interação entre doses de silício aplicado ao solo e via foliar para o teor de S na planta, sendo que à medida que aumenta o silício no solo e há aplicação foliar o teor de S diminui. Para a não foliar não houve interação significativa, mas permaneceu com valores maiores de S na planta. Carvalho (2000) também obteve redução no teor de S na planta com o aumento de silício no solo.

Pela Figura 11, apresentada no próximo tópico, o teor de Si na planta aumenta com as doses aplicadas de Recmix ao solo, mas não diferencia no tratamento foliar. Provavelmente esta fato possa ter ocorrido devido a outro fator da solução de metassilicato de sódio, sem ser o silício.

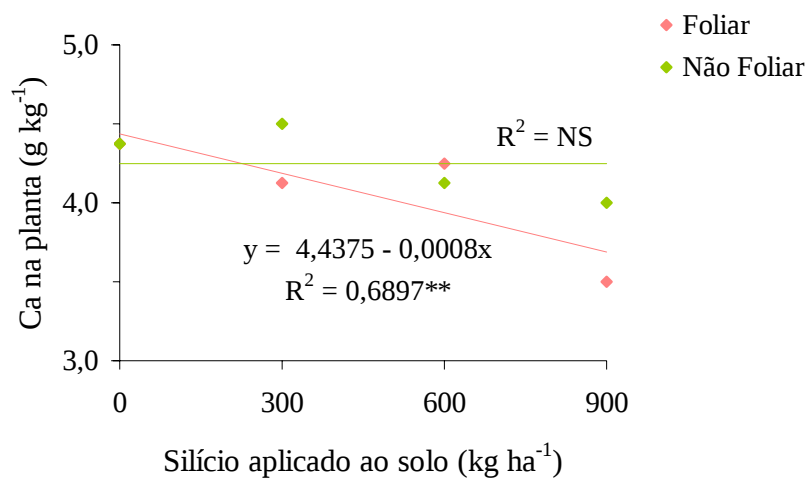


Figura 5 - Teor de Ca na planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.

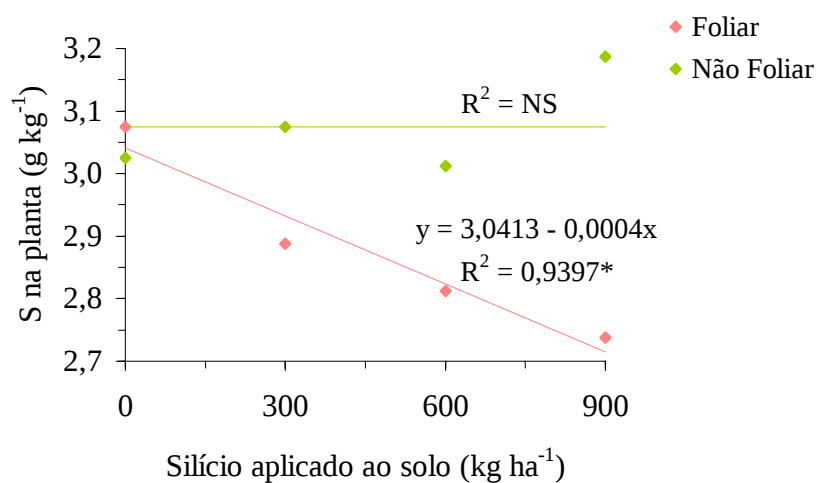


Figura 6 – Teor de S na planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.

Pela Tabela 17, observa-se que as diferenças entre lâmina d'água e aplicação foliar de Si não influenciaram os teores de B e Cu no tecido vegetal. Em contraposição aos dados da literatura, como Souza e Yasuda (1994), não houve aumento na absorção de B pela planta e, sim sua diminuição com aumento do silício aplicado ao solo

(Figura 7). De acordo com Lewin e Reimann (1969), citados por Cheng (1982), devido às similaridades químicas o Si interfere na absorção ou na utilização do B. O teor de Fe na planta diminuiu com a aplicação de Si na folha. Para o teor de Zn na planta o sequeiro apresentou maior teor que o irrigado.

Tabela 17 – Análise química de micronutrientes no tecido vegetal do arroz em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Lâmina de água					
Sequeiro	10	8	76	407	23 a
Irigado	10	8	81	370	20 b
Aplicação de Si foliar					
Não Foliar	10	8	86 a ⁽¹⁾	415	22
Foliar	10	8	70 b	362	21
CV(%) Lâmina	13	18	40	17	14
CV(%) Foliar	14	14	24	30	13
CV(%) Dose	12	13	50	45	11

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam médias de lâmina e foliar.

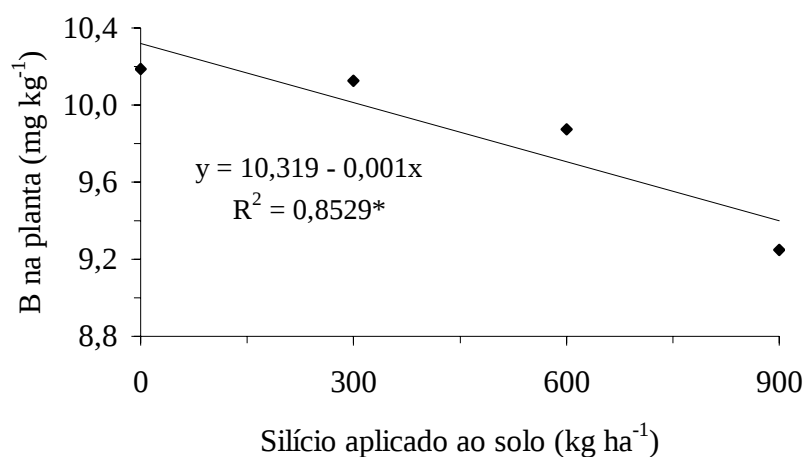


Figura 7 - Teor de B na planta em função da aplicação de silício ao solo.

Pela Tabela 18 observa-se que, no tratamento irrigado, o teor de Fe na planta foi menor quando aplicou-se Si foliar, sendo que provavelmente este efeito tenha sido mais facilmente detectado devido à presença da água no sistema, a qual proporcionou melhor absorção do elemento na folha, porém como será visto na Tabela 20, o teor de Si na planta com o tratamento irrigado não diferiu estatisticamente entre foliar e não foliar. No entanto se avaliar dentro do tratamento foliar, nota-se que o irrigado apresenta teor maior de Si na planta, o que pode ter levado a uma diminuição do Fe na planta. Segundo Pedras et al. (1987), a planta com boa disponibilidade de água no solo, mantém túrgidas as suas células e boa hidratação da cutícula, favorecendo a penetração foliar dos nutrientes.

Tabela 18 – Interações na análise química de micronutrientes no tecido vegetal do arroz entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água.

	Não Foliar	Foliar
	----- Fe (mg kg ⁻¹) -----	
Sequeiro	79	73
Irigado	94 A	68 B
	----- Mn (mg kg ⁻¹) -----	
Sequeiro	402	412 a
Irigado	428	311 b
	----- Zn (mg kg ⁻¹) -----	
Sequeiro	23	22 a
Irigado	21	20 b

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam foliar dentro de lâmina. Letras minúsculas comparam lâmina dentro de foliar.

Houve interação significativa no teor de Mn na planta, pois com a aplicação foliar de silício o tratamento irrigado diminuiu seu teor quando comparado com o sequeiro (Tabela 18). A faixa adequada sugerida por Raij et al. (1996) para Mn é de 70-400 mg kg⁻¹, provavelmente na presença da água o efeito do Si foliar foi maior diminuindo o teor de Mn a um nível não tóxico. Como já foi relatado, na Tabela 20 em tratamentos que receberam aplicação foliar, a irrigação proporcionou maior teor de Si na planta. Horiguchi (1988) concluiu que a atenuação da toxicidade de Mn pelo suprimento de Si, não era somente devido à diminuição da absorção de Mn pelas plantas, mas também pelo aumento da

tolerância interna à excessivas quantidades de manganês nos tecidos, melhorando a distribuição deste na lâmina foliar. No caso do arroz, Malavolta (1980) cita que o mecanismo de proteção contra esta toxidez é outro. O Si atenua a toxidez de Fe e de Mn por determinar a oxidação destes elementos pelo O₂ transportado da parte aérea, fazendo com que se depositem na superfície radicular, sendo portanto menos absorvidos.

O teor de Zn (Tabela 18), quando houve aplicação foliar de silício, diminuiu no tratamento irrigado em relação ao sequeiro; provavelmente a água favoreceu o efeito do Si foliar, diminuindo o teor de Zn. Novamente houve interação com os dados da Tabela 20, em que tratamentos que receberam aplicação foliar, a irrigação proporcionou maior teor de Si na planta. Carvalho (2000) e Tiller (1967), citado por Cheng (1982), obtiveram os mesmos resultados no decréscimo de Zn na planta.

Tanto para o Fe como para o Mn a literatura indica que o silício diminui as respectivas fitotoxicidades (BARBOSA FILHO, 1987; TANAKA, 1966, citado por CHENG, 1982; TAKAHASHI, 1995; SAVANT et al., 1997b, KORNDÖRFER et al., 2002), sendo estas relacionadas à absorção radicular quando o silício é aplicado ao solo. Curiosamente, este efeito do Si nos teores de Fe e Mn, além do Zn, ocorreu com a aplicação do Si via foliar, diminuindo os teores na planta. Segundo Menzies et al. (1992) o silício possivelmente é absorvido pelas folhas onde atua de modo similar ao silício fornecido através da absorção radicular. Camargo e Silva (1975) citados por Pedras et al. (1987) apontam a propriedade de trocas iônicas das cutículas importante para elucidar o caminhar dos materiais que entram e saem das folhas. Outro fator relevante citado por Pedras et al. (1987) é o antagonismo iônico que afeta a absorção e acúmulo de íons isolados além da permeabilidade das membranas protoplasmáticas à água e solutos não ionizados; além da possibilidade de haver interferência de certos íons, uns com outros, no mesmo lugar de ligação e no mesmo carreador, como processo de absorção celular.

Para o tratamento irrigado, nota-se pela Figura 8, que com o aumento de silício aplicado ao solo o teor de B na planta aumenta até a dose de 300 kg ha⁻¹ de silício; doses mais elevadas resultaram em menores teores de B na planta. Para o sequeiro não houve interação significativa.

Pereira (1999) também não obteve resultados significativos nos teores de micronutrientes no tecido vegetal, em seu trabalho com tomate.

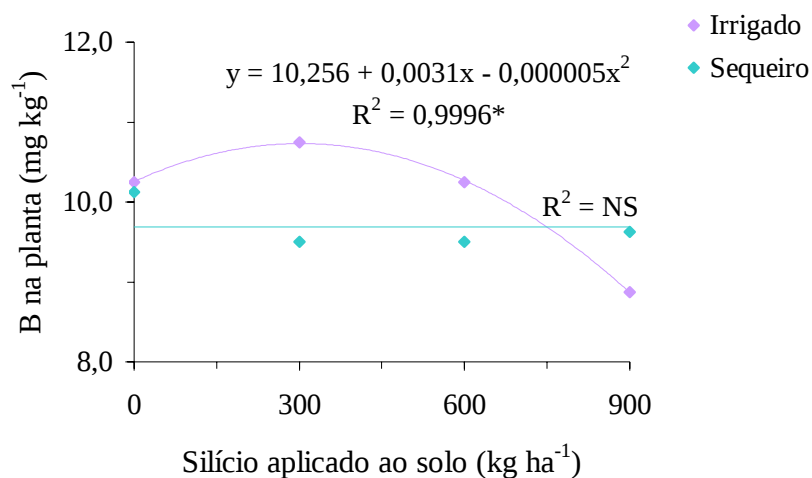


Figura 8 - Teor de B na planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.

6.2.2.1 Análise química de silício no tecido vegetal

Na Tabela 19 são apresentados os teores de silício na folha bandeira, na época do florescimento, segundo recomendações de Raij et al. (1996), e na maturação, segundo Korndörfer et al. (1999b), pois como o silício é acumulado até o final do ciclo, os autores recomendam que sua análise na planta seja realizada na época da colheita, coletando-se toda a parte aérea do arroz (colmos + folhas). Tanto no florescimento como na maturação o tratamento irrigado acumulou mais silício na planta, devido à maior absorção do elemento conseqüente da maior disponibilidade de água no solo. Os valores da maturação são maiores devido ao acúmulo ser até o final do ciclo; quanto à aplicação foliar de silício não houve diferenças significativas.

Tabela 19 – Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício no teor de silício no florescimento e maturação.

Tratamentos	Si - florescimento (g kg ⁻¹)	Si - maturação (g kg ⁻¹)
Lâmina de água		
Sequeiro	7,1 b ⁽¹⁾	11,3 b
Irrigado	13,2 a	16,4 a
Aplicação de Si foliar		
Não Foliar	10,3	13,8
Foliar	10,0	13,9
CV(%) Lâmina	18	12
CV(%) Foliar	11	20
CV(%) Dose	21	15

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam médias de lâmina.

Pela Figura 9 observa-se aumento do teor de silício na planta à medida que se aumenta a dose de silício aplicado ao solo, sendo que os valores na maturação são maiores que no florescimento, revelando assim boa eficiência da fonte Recmix na disponibilidade e absorção do silício às plantas de arroz.

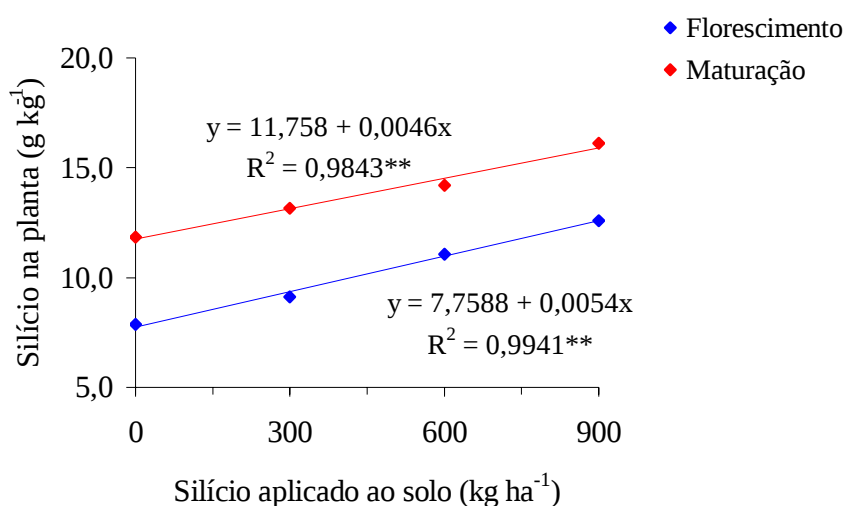


Figura 9 – Teor de silício na planta em função da aplicação de silício ao solo, no florescimento e na maturação.

Na Tabela 20 o mesmo efeito da lâmina d'água é observado, ou seja, no tratamento irrigado o teor de silício é maior, independente da aplicação foliar, tanto no florescimento como na maturação. O alto valor de silício no tratamento irrigado da parcela foliar, na época do florescimento, interagiu com valores de Fe, Mn e Zn na folha bandeira.

Tabela 20 – Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água nos teores de silício no florescimento e maturação.

	Não Foliar	Foliar
	----- Si florescimento (g kg ⁻¹) -----	
Sequeiro	7,1 b ⁽¹⁾	7,1 b
Irigado	13,5 a	13,0 a
	----- Si maturação (g kg ⁻¹) -----	
Sequeiro	11,4 b	11,2 b
Irigado	16,4 a	16,3 a

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam lâmina dentro de foliar.

À medida que se aumenta o teor de silício aplicado ao solo, o teor de silício na planta aumenta, sendo que na presença da água este valor é maior, para as duas épocas analisadas (Figura 10).

Na Figura 11 nota-se que com o aumento do silício ao solo o teor deste na folha aumenta, no entanto não houve diferenças com a aplicação foliar, tanto no florescimento como na maturação, sendo que nesta última época os valores são maiores.

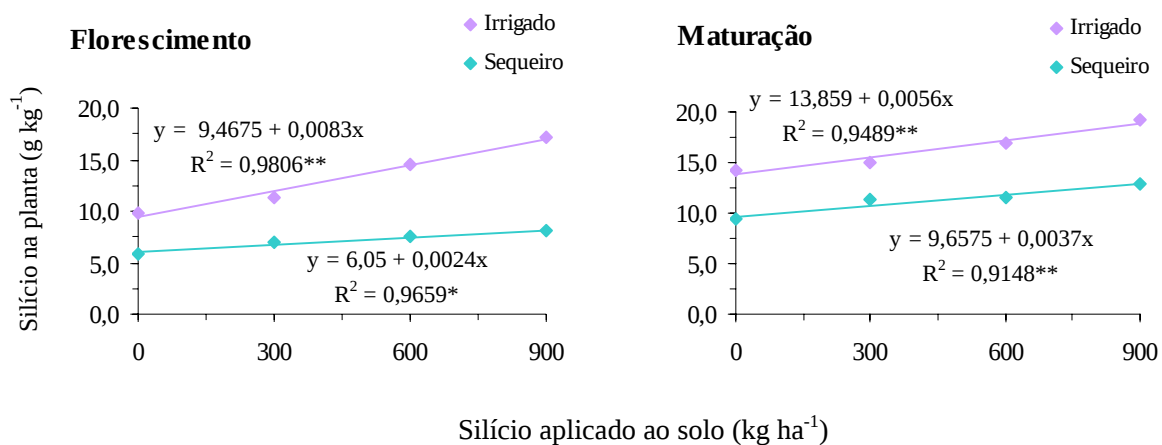


Figura 10 – Teor de silício na planta em função da aplicação de silício ao solo, no florescimento e na maturação, em diferentes lâminas d'água.

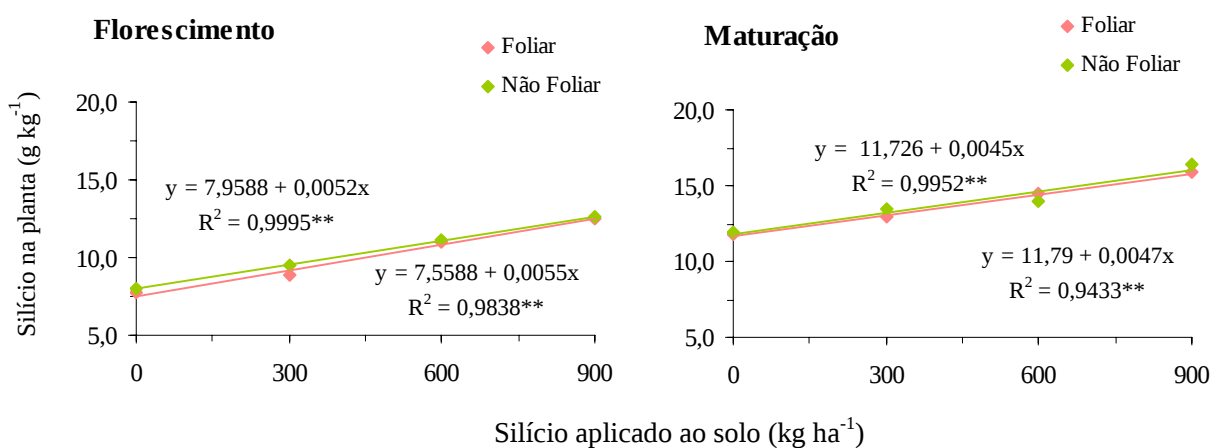


Figura 11 – Teor de silício na planta em função da aplicação de silício ao solo, no florescimento e na maturação, em diferentes modos de aplicação do silício.

6.2.3 Componentes da produção

Os componentes da produção são determinados em diferentes estágios de desenvolvimento da planta e apresentam contribuições quantitativas diferenciadas para produção de grãos (MATSUSHIMA, 1970).

Na Tabela 21 está apresentado o efeito dos tratamentos nos componentes da produção da cultura do arroz, que são constituídos pelo número de panículas/m², número de espiguetas/panícula, porcentagem de espiguetas granadas e massa de 1000 grãos. No entanto a Tabela apresenta outros parâmetros que foram avaliados, os quais são necessários para definir os componentes. A adição foliar de silício não interferiu nos componentes da produção.

A irrigação aumentou os números de colmos/m², panículas/m², espiguetas/panícula e espiguetas chochas/panícula. Conforme Crusciol (1998) a intensidade da deficiência hídrica pode diminuir o perfilhamento afetando o número de colmos/m² (AQUINO, 1984; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993), já que leva à dormência as gemas axilares. Se a deficiência hídrica persiste até a transformação da gema vegetativa em reprodutiva, além do número de colmo/m² o de panículas/m² também é afetado (CRUSCIOL, 1998). Stone et al. (1979) também relatam a redução deste componente devido a deficiência hídrica.

Tabela 21 – Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício nos componentes da produção da cultura do arroz.

Tratamentos	Nº colmos/m ²	Nº panículas/m ²	Perfilhamento útil (%)	Nº espiguetas/panícula	Nº espiguetas granadas/panícula	Nº espiguetas chochas/panícula	% espiguetas granadas	Massa de 1000 grãos
Lâmina de água								
Sequeiro	204 b ⁽¹⁾	140 b	68	98 b	31	67 b	31	17,42
Irrigado	403 a	258 a	65	128 a	39	90 a	30	16,73
Aplicação de Si foliar								
Não Foliar	311	206	67	116	36	80	30	17,34
Foliar	296	191	66	111	33	78	30	16,80
CV(%) Lâmina	18	22	24	19	58	28	52	9
CV(%) Foliar	7	20	17	12	14	21	24	5
CV(%) Dose	12	24	22	15	41	17	33	7

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam médias de lâmina e foliar.

O número de espiguetas/panícula aumentou com a irrigação. Fageria (1980) obteve redução do número total de espiguetas por panícula devido a deficiência hídrica. Segundo Yoshida (1981) tal componente é influenciado, além de fatores genéticos, por condições externas vigentes durante o início da fase reprodutiva a 5 dias que antecedem o florescimento. Enquanto o número de espiguetas granadas/panícula não diferiu com as lâminas d'água, o número chochas/panícula foi maior no tratamento irrigado. Rodrigues (1998) observou número maior de grãos chochos/panícula em tratamentos irrigados quando comparado ao de sequeiro. Pela Tabela 21 nota-se também que não houve diferença na porcentagem de espiguetas granadas. Durante a meiose do grão de pólen, 10 dias antes, e o início do florescimento, condições adversas podem influenciar tal componente. Conforme Yoshida e Parao (1976) entre as condições climáticas desfavoráveis, constam as altas e baixas temperatura do ar, baixa radiação solar, deficiência hídrica e ventos fortes. Não houve diferenças neste componente, entre as lâminas d'água, devido a época que antecede o florescimento do sequeiro apresentar altos índices pluviométricos (18 a 20/04/03 – Apêndice).

O número de colmos/m², panículas/m², espiguetas/panícula e espiguetas chochas/panícula aumentaram com a irrigação. A aplicação foliar de silício, nas parcelas irrigadas, diminuiu o número de espiguetas granadas/panícula e a massa de 1000 grãos (Tabela 22). Como visto na Tabela 20, o teor de Si na planta não diferiu entre foliar e não foliar, para as parcelas irrigadas, sendo este um efeito conseqüente da solução de metassilicato de sódio. No entanto, a massa de 1000 grãos quando adicionou-se Si foliar, diminuiu no tratamento irrigado, e o teor de Si na planta, quando comparado entre sequeiro e irrigado é maior neste último, sendo este um efeito causado pelo aumento de silício na planta.

Tabela 22 – Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água nos componentes da produção da cultura do arroz.

	Não Foliar	Foliar
	----- Nº colmos/m ² -----	
Sequeiro	211 b	198 b
Irrigado	412 a	394 a
	----- Nº panículas/m ² -----	
Sequeiro	140 b	139 b
Irrigado	271 a	244 a
	----- Nº espiguetas/panícula -----	
Sequeiro	97 b	100 b
Irrigado	134 a	122 a
	----- Nº espiguetas granadas/panícula -----	
Sequeiro	29	33
Irrigado	43 A	34 B
	----- Nº espiguetas chochas/panícula -----	
Sequeiro	68 b	67 b
Irrigado	91 a	88 a
	----- Massa de 1000 grãos -----	
Sequeiro	17,37	17,47 a
Irrigado	17,31 A	16,14 bB

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam foliar dentro de lâmina. Letras minúsculas comparam lâmina dentro de foliar.

Como pode ser visto pelas Figuras 12 e 13 o número de espiguetas/panícula e o número de espiguetas chochas/panícula aumentaram linearmente no tratamento irrigado com a aplicação de silício ao solo, sendo que para o tratamento de sequeiro não houve interação significativa. Okuda e Takahashi (1965), citados por Barbosa Filho (1987), Ma et al. (1989), Deren et al. (1994) e Savant et al. (1997b) relatam aumento do número de espiguetas/panícula devido a adição de silício. Ao contrário dos dados obtidos, Barbosa Filho e Prabhu (2002) em experimentos conduzidos na Embrapa e em outros locais, obtiveram que a aplicação de silicato de cálcio reduziu o número de grãos vazios e promoveu aumentos lineares no rendimento de grãos e no número de grãos cheios por panícula.

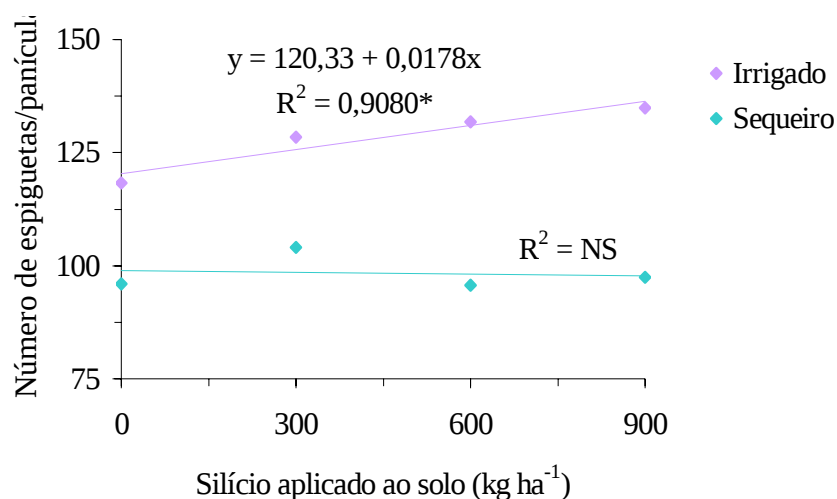


Figura 12 – Número de espiguetas/panícula em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.

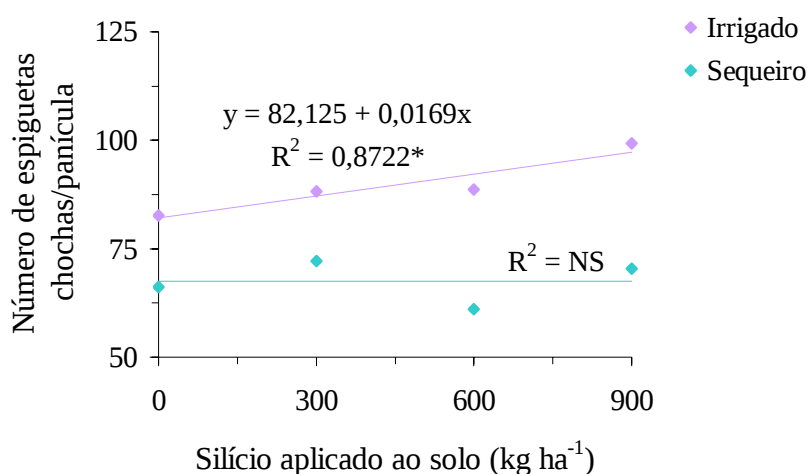


Figura 13 – Número de espiguetas chochas/panícula em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.

6.2.4 Incidência de manchas foliares

Devido a ocorrência de brusone e mancha-parda ou helminthosporiose foram realizadas avaliações para verificar o efeito do silício na resistência da planta de arroz às doenças fúngicas.

Nas folhas de arroz, forma-se a camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas das folhas, as quais segundo alguns autores (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 1980; TAKAHASHI, 1995) teria a função de limitar a perda de água e dificultar a penetração de hifas de fungos. O efeito da proteção mecânica é atribuída, principalmente, ao depósito de Si na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) na parede celular.

Segundo Epstein (1999) os mecanismos de defesa mobilizados pelo Si são acumulação de lignina, compostos fenólicos e peroxidases, sugerindo ainda que este possa agir como um segundo mensageiro dentro da célula. Já Fawe et al. (1998) identificando uma proteção ativa induzida pelo Si dentro das células vegetais, demonstraram que o mesmo inicia uma sequência de reações que formam mecanismos de defesa bioquímicas em planta de pepino infectada. Menzies et al. (1999) relatam que uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógenos, e a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência.

Pela Tabela 23 observa-se que não houve efeito dos tratamentos na severidade da brusone nas folhas do arroz e também na incidência da brusone no pescoço da panícula.

Tabela 23 – Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício na severidade e incidência da brusone na cultura do arroz.

Tratamentos	Brusone na folha (%)	Brusone no pescoço da panícula (%)
Lâmina de água		
Sequeiro	17	64
Irigado	17	67
Aplicação de Si foliar		
Não Foliar	17	66
Foliar	17	65
CV(%) Lâmina	13	18
CV(%) Foliar	10	13
CV(%) Dose	24	19

Observando-se a regressão da Figura 14 nota-se que com o aumento da aplicação de silício ao solo a incidência de brusone no pescoço da panícula aumenta linearmente, mesmo quando o teor de silício na folha bandeira e na panícula, no estágio da maturação (Figura 15), aumentam com a adição de Recmix. Tal resultado é justamente o contrário do que era esperado, talvez porque o plantio foi feito tardiamente, o que favorece suscetibilidade às doenças e ter ocorrido epidemia da doença de maneira severa, uma vez que a maioria dos cultivos de arroz na Fazenda Experimental Lageado apresentaram problemas com brusone, obtendo-se baixas produções e ao fato de se ter plantios de idades diferentes em áreas vizinhas, nas quais não era efetuado controle algum, o que invariavelmente disseminou a doença de maneira tão drástica.

Queiroz et al. (2003) observaram que o aumento na dose de metassilicato não afetou a severidade de mancha-parda na folha bandeira, incidência de brusone nas panículas e severidade de mancha de grãos, porém menor severidade da brusone nas folhas e maior produtividade foram verificadas nos tratamentos com maiores dose do

metasilicato. Já Berni e Prabhu (2003) relatam diminuição de brusone nas folhas do arroz com o aumento da dose de silício ao solo, e que a eficiência do tratamento de sementes com fungicida, visando o controle da brusone nas folhas do arroz, aumenta com a aplicação de silício.

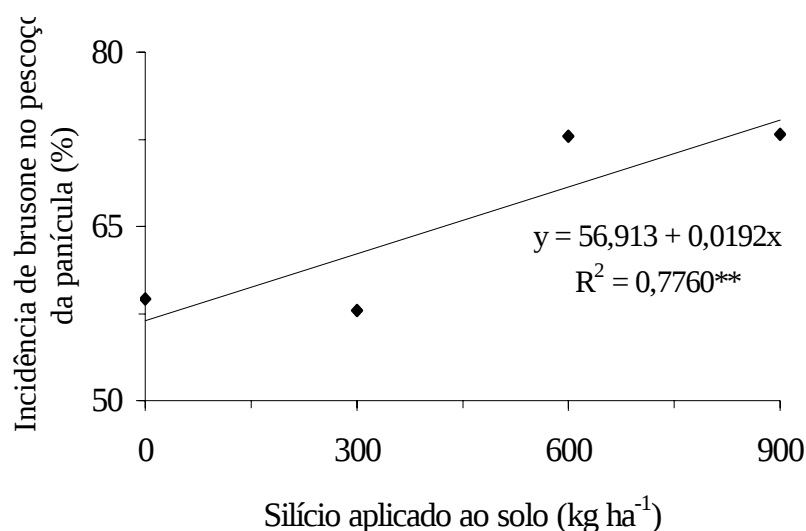


Figura 14 – Incidência de brusone no pescoço da panícula em função da aplicação de silício ao solo.

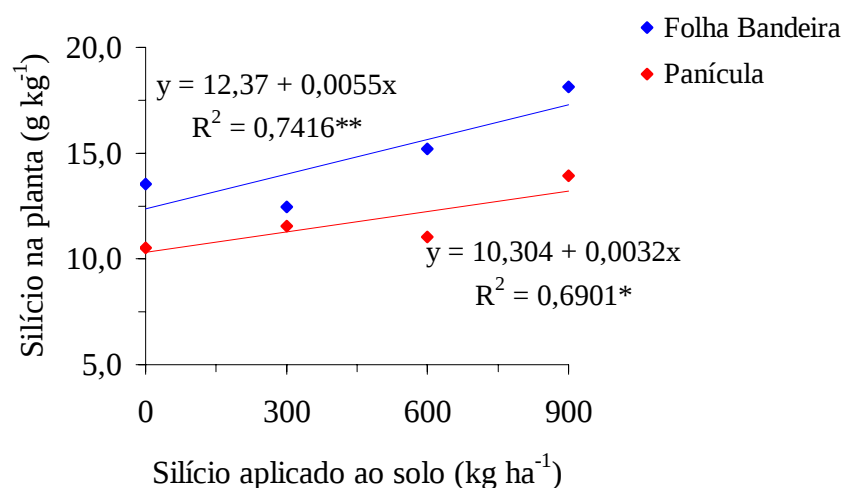


Figura 15 – Teor de silício na planta em função da aplicação de silício ao solo, na folha bandeira e panícula de planta de arroz, na época da maturação.

Na Figura 16 observa-se o mesmo comportamento com o aumento da brusone em doses mais altas de silício ao solo, sendo que o efeito no tratamento irrigado foi maior que o sequeiro. Entre culturas irrigadas e de sequeiro o que normalmente ocorre é um índice maior de doença no tratamento de sequeiro. Segundo Prabhu et al. (1999) a baixa umidade do solo aumenta a susceptibilidade do arroz à brusone devido à menor absorção de ácido silícico do solo e ao aumento do teor de nitrogênio solúvel no interior dos tecidos da planta. Por outro lado, a incidência da brusone nas folhas intensifica os efeitos causados por deficiência hídrica, resultando em morte rápida das folhas lesionadas de cultivares suscetíveis. Em arroz de sequeiro, a susceptibilidade das plantas à brusone das panículas aumenta sob condições de estresse hídrico devido ao acúmulo de nutrientes nas ramificações das panículas, o que explica parcialmente a maior severidade da brusone em arroz de sequeiro que arroz irrigado (PRABHU e MORAES, 1986).

Nota-se pelas Tabelas 24 e 25, e Figura 17 que o tratamento irrigado apresentou maior absorção de silício do solo, com teores do elemento na folha bandeira e panícula maiores, mesmo assim a incidência de brusone na panícula foi maior no irrigado.

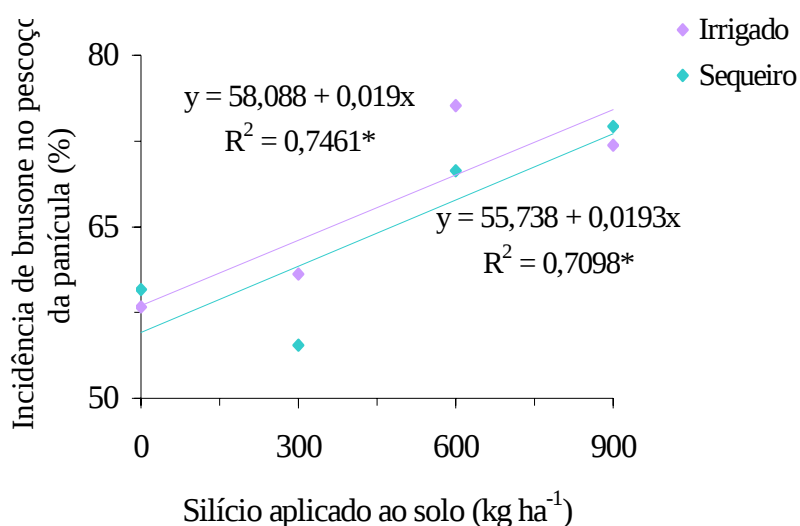


Figura 16 – Incidência de brusone no pescoço da panícula em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.

Tabela 24 – Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício No teor de silício na folha bandeira e na panícula, no estágio da maturação.

Tratamentos	Si - folha bandeira (g kg ⁻¹)	Si – panícula (g kg ⁻¹)
Lâmina de água		
Sequeiro	10,6 b	8,7 b
Irigado	19,0 a	14,9 a
Aplicação de Si foliar		
Não Foliar	14,8	11,3
Foliar	14,9	12,3
CV(%) Lâmina	30	16
CV(%) Foliar	9	18
CV(%) Dose	30	31

Tabela 25 – Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água nos teores de silício na folha bandeira e panícula, no estágio da maturação.

	Não Foliar	Foliar
	----- Si folha bandeira (g kg ⁻¹) -----	
Sequeiro	10,4 b ⁽¹⁾	10,9 b
Irigado	19,2 a	18,9 a
	----- Si panícula (g kg ⁻¹) -----	
Sequeiro	8,5 b	8,8 b
Irigado	14,04 a	15,7 a

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam lâmina dentro de foliar.

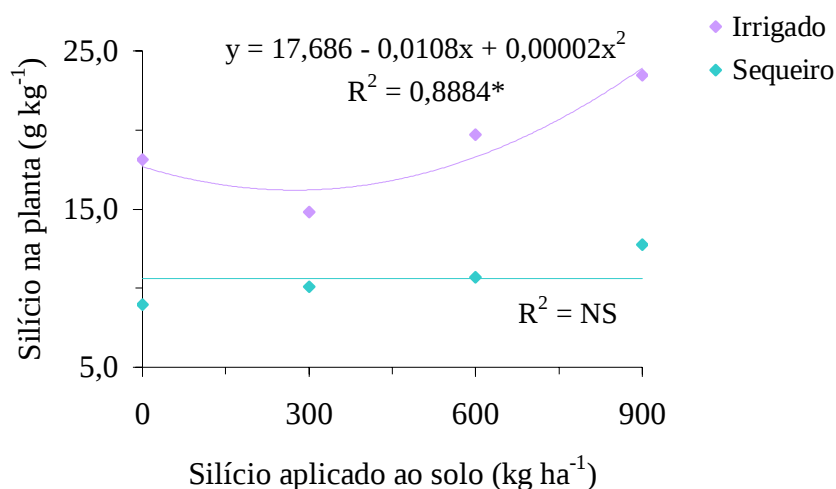


Figura 17 – Teor de silício na folha bandeira em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.

Como o ciclo da cultura do tratamento sequeiro se estendeu em relação ao irrigado, ficando mais atrasado, as aplicações dos fungicidas, realizadas na área toda com o pulverizador tipo “canhão” acoplado ao trator, permitiram um controle mais eficiente no sequeiro devido seu estágio fenológico, mesmo utilizando-se dose mais altas. Segundo COMPÊNDIO... (1996) as pulverizações com Benlate e Daconil devem ser feitas em 3 épocas, emborrachamento, início da emissão das panículas e florescimento. Como as aplicações eram feitas semanalmente na área toda, algumas não coincidiram perfeitamente às épocas recomendadas, fato mais freqüente no tratamento irrigado.

Outro fato importante é o relato de Filippi e Prabhu (1998), citados por Prabhu et al. (1999), no qual em estudo com quatro genótipos, a brusone nas panículas foi relacionada com a concentração de nutrientes, nos tecidos da panícula, em arroz de terras altas, sendo que os teores de nitrogênio, fósforo e magnésio nos tecidos foram positivamente correlacionados com a brusone nas panículas, por outro lado, o potássio e o cálcio foram negativamente correlacionados. Pela Tabela 15 observou-se que os teores de N, P e Mg foram maiores no tratamento irrigado e o de K no sequeiro, podendo também explicar em parte o resultado obtido, embora tais valores sejam das folhas.

O fato do tratamento irrigado ter maior incidência de brusone causou grande número de espiguetas chochas na panícula, pois a lesão da brusone impede a translocação de solutos para a panícula, o que explica o fato de que entre os componentes da produção o número de espiguetas chochas/panícula ter sido maior no tratamento irrigado (Tabela 21) e também pela Figura 13, onde com o aumento de silício ao solo houve aumento das espiguetas chochas/panícula, acompanhando o aumento da brusone no pescoço da panícula.

A infecção no primeiro nó, abaixo da panícula, é referida como brusone do pescoço. Quando a infecção ocorre antes da fase leitosa, a panícula inteira morre, apresentando coloração parda, diferente da coloração esbranquiçada, característica das panículas atacadas pela broca-do-colmo ou daquelas estéreis devido à seca. As infecções mais tardias das panículas causam perdas somente nas partes afetadas. Em condições de alta umidade, o fungo esporula nas espiguetas causando chochamento completo na fase leitosa (PRABHU et al., 1999).

Na regressão representada pela Figura 18 observa-se a mesma tendência de aumento da incidência da brusone no pescoço da panícula com o aumento do silício ao solo, no entanto quando aplicou-se silício foliar esta incidência foi menor, embora a regressão ajustada apresente um valor de r^2 muito pequeno, mas mesmo assim significativo a 1%. Pode-se sugerir que, caso tivesse sido feitas aplicações foliares com maior frequência o controle poderia ter sido maior. A Figura 19 indica que a aplicação foliar de silício aumentou realmente o teor de silício na folha bandeira; este aumento do silício já proporcionou um certo controle em relação a não aplicação foliar.

Segundo Bowen et al. (1992) citados por Lima Filho et al. (1999) aparentemente, o Si aplicado via foliar pode ser absorvido e translocado lateralmente, através da folha, para áreas não cobertas pelo silicato, circundando o apressório. Os mesmo autores relatam ainda que é necessário um suprimento contínuo de Si para aumento da resistência da planta, pois Samuels et al. (1991b) com pepineiros infectados por *S. fuliginea* transferidos para um meio contendo Si, apresentam rápida silicificação do tecido foliar, principalmente nas bases dos tricomas, e ao redor dos pontos de infecção, aumentando resistência ao patógeno; mas a transferência de plantas suplementadas com Si para um meio deficiente no elemento não

mantêm a resistência ao fungo, ou a silicificação do tecido hospedeiro ao redor da hifa, apesar da existência de Si residual na base dos tricomas.

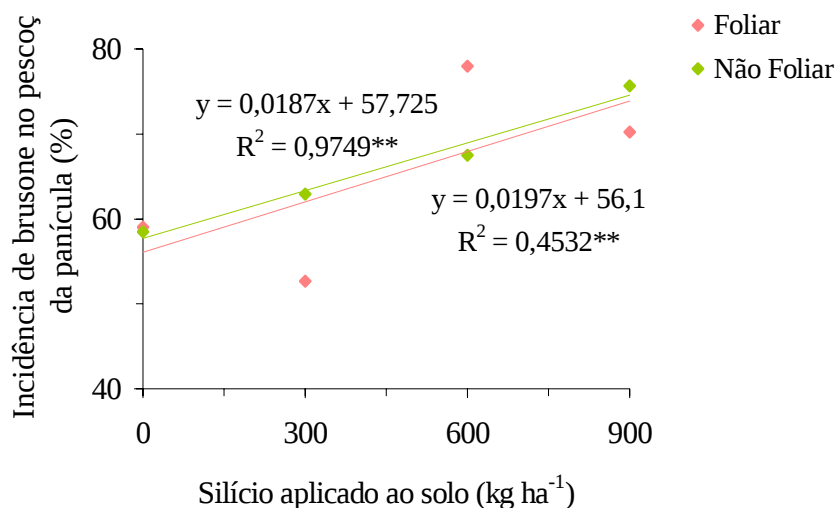


Figura 18 – Incidência de brusone no pescoço da panícula em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.

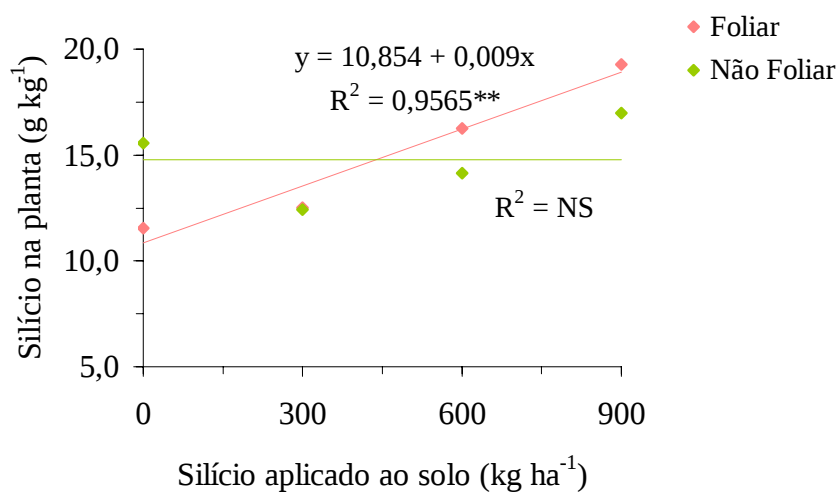


Figura 19 – Teor de silício na folha bandeira em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.

Pereira et al. (2003) trabalhando com plantas de pepino infectadas pela antracnose concluíram que todos os tipos de adubação de silício, tanto via solo como via foliar (semanalmente), mostraram-se eficientes no fornecimento de silício para as plantas de pepino; porém, os tratamentos foliares em especial o tratamento com aplicação de silicato de potássio proporcionou uma maior absorção de silício pelas plantas de pepino, o que resultou no melhor controle da doença.

6.2.5 Produtividade de grãos

Os resultados obtidos na produtividade da cultura do arroz estão apresentados nas Tabelas 26 e 27. Embora tenham sido realizadas seis pulverizações semanais com fungicidas, houve grande epidemia de brusone no pescoço da panícula, proporcionando assim produtividades tão baixas. Não houve efeito de doses de silício aplicado ao solo na produtividade de grãos. Observa-se interação quando não há aplicação foliar de silício, sendo que no tratamento irrigado a produtividade foi maior que no sequeiro.

Como já foi relatado, no ano agrícola 2002/2003 houve uma ocorrência muito grande de brusone e mancha-parda nas áreas pertencentes à Faculdade de Ciência Agronômicas, sendo que a produção de arroz da Fazenda Experimental da Edgárdia caiu muito neste ano; embora seja arroz irrigado por inundação a produtividade de 6000 kg ha⁻¹ caiu 2/3 neste ano, passando para aproximadamente 2000 kg ha⁻¹ de arroz.

Segundo Prabhu et al. (1999) as perdas em produção ocasionadas pela brusone em experimentos conduzidos sob condições de campo, variam de 15 a 30%; os autores citam Prabhu et al. (1989) que relatam que a cada aumento de 1% na severidade da doença, a produtividade diminuiu 2,7% e 1,5% em cultivares de ciclo precoce e tardio, respectivamente.

A deficiência hídrica interfere em todos os processos fisiológicos e, por isso mesmo, tem acentuado efeito sobre a produção de fitomassa e o rendimento de grãos (PINHEIRO, 1999). Como pode ser visto pela Tabela 21 a irrigação proporcionou maiores valores de colmos/m² e de panículas/m², o que resultou em maior produtividade de grãos. Já o efeito da deficiência hídrica na fase reprodutiva não afetou a produtividade de grãos, pois a

porcentagem de espiguetas granadas não diferiu entre sequeiro e irrigado, devido as precipitações pluviométricas ocorridas no florescimento. Segundo Pinheiro e Guimarães (1990) a deficiência hídrica no estágio vegetativo da planta inibe o processo de perfilhamento, e conseqüentemente reduz seu potencial produtivo.

Tabela 26 – Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício na produtividade de grãos da cultura do arroz.

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Lâmina de água	
Sequeiro	733
Irrigado	1109
Aplicação de Si foliar	
Não Foliar	966
Foliar	876
CV(%) Lâmina	63
CV(%) Foliar	24
CV(%) Dose	42

Tabela 27 – Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água na produtividade de grãos da cultura do arroz.

	Não Foliar	Foliar
	----- Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) -----	
Sequeiro	717 b ⁽¹⁾	749
Irrigado	1215 a	1003

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam lâmina dentro de foliar.

6.2.6 Análise de crescimento

6.2.6.1 Medidas biométricas

6.2.6.1.1 Altura média da planta

A medida da altura da planta é extremamente importante no sentido de se obter visão mais precisa de crescimento de uma cobertura vegetal (BENINCASA, 1986).

Os dados da altura média da planta são demonstrados nas Tabelas 28 e 29, nas quais nota-se que no tratamento irrigado as plantas apresentaram altura média superior em relação às mantidas em condições de sequeiro. A redução na altura da planta de arroz, provocada por deficiência hídrica, também foi observada por Oliveira (1995) e Faria (2000). Não houve efeito da aplicação foliar de silício na altura média da planta.

Tabela 28 – Efeito da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício na altura média da planta de arroz.

Tratamentos	Altura média (cm)
Lâmina de água	
Sequeiro	55 b ⁽¹⁾
Irigado	63 a
Aplicação de Si foliar	
Não Foliar	59
Foliar	59
CV(%) Lâmina	5
CV(%) Foliar	7
CV(%) Dose	4

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam lâmina dentro de foliar.

Tabela 29 – Interações entre aplicação foliar de silício e disponibilidade de água na altura média da planta do arroz.

	Não Foliar	Foliar
	----- Altura média (cm) -----	
Sequeiro	55 b ⁽¹⁾	55 b
Irrigado	64 a	63 a

(1) Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam lâmina dentro de foliar.

Pela Figura 20 pode-se notar que o silício adicionado ao solo aumentou a altura média da planta de arroz, semelhante ao resultado de Carvalho (2000). Segundo Takahashi (1995) em plantas de arroz, a absorção de silício aumenta a altura da planta no estágio de perfilhamento, sendo essas diferenças devido, principalmente, à expansão da lâmina foliar. Faria (2000) obteve aumento da altura da planta de arroz, aos 60 DAE, devido ao uso do silício. Embora a altura apresentada neste trabalho seja a média do ciclo inteiro pode-se notar que, provavelmente, o silício tenha efeito na altura da planta, conforme relatado por Okuda e Takahashi (1965), citados por Barbosa Filho (1987).

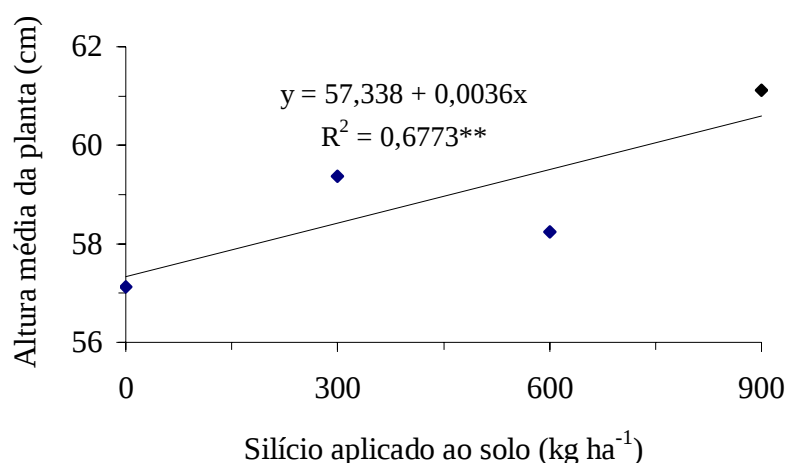


Figura 20 – Altura média da planta em função da aplicação de silício ao solo.

Na Figura 21 observa-se que a tendência de aumento da altura média da planta, devido à adubação de silício no solo, ocorre tanto no sequeiro como no irrigado, no entanto com maior disponibilidade de água, a altura da planta é maior.

A aplicação foliar de silício não interferiu na altura da planta, quando o solo é adubado com silício, como demonstra a Figura 22.

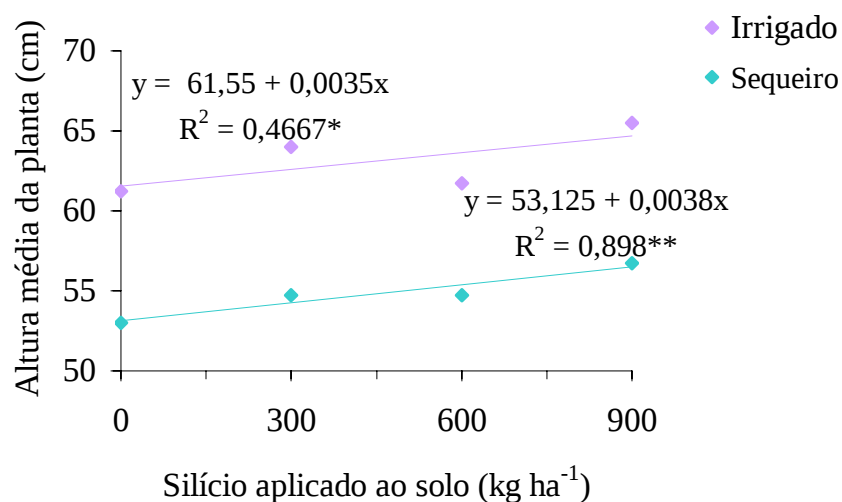


Figura 21 - Altura média da planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes lâminas d'água.

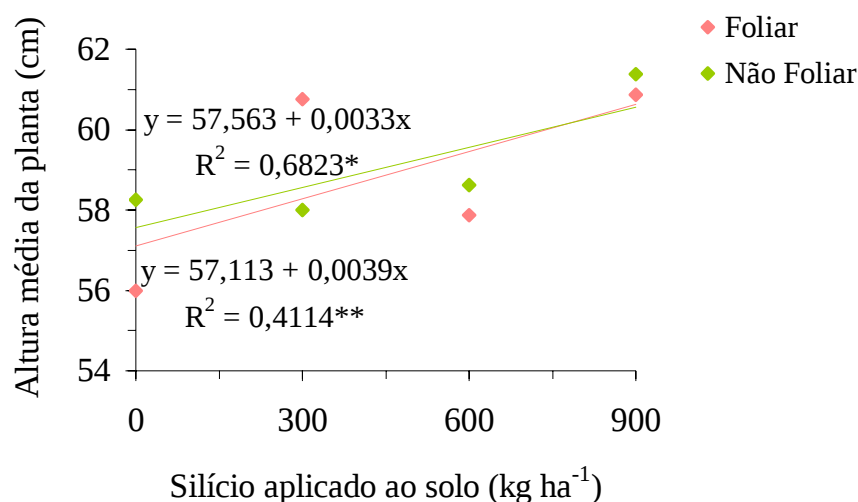


Figura 22 - Altura média da planta em função da aplicação de silício ao solo, em diferentes modos de aplicação do silício.

6.2.6.1.2 Área foliar e matéria seca dos diferentes órgãos da planta

Os resultados obtidos para área foliar estão sendo apresentados como Índice de Área Foliar (IAF), por serem estes os utilizados para os cálculos dos índices fisiológicos, quando o ensaio se realiza em condições de campo.

Segundo diversos autores, entre eles Carvalho (2000), Santos e Costa (1997) e Oliveira (1995), a melhor curva que representa o crescimento de plantas de arroz, de forma mais ajustada, é a Exponencial Quadrática.

As equações exponenciais quadráticas, ajustadas aos dados de índice de área foliar (IAF), matéria seca do colmo+bainha (MSC), matéria seca das folhas (MSF) e matéria seca total da planta (MST) em relação ao tempo, estão demonstradas nas Tabelas 30, 31, 32 e 33, com seus respectivos coeficientes de determinação. A matéria seca das panículas está sendo apresentada como união de pontos, por estarem presentes apenas nas duas últimas amostragens. Estão sendo representados, em Figuras, apenas os tratamentos das doses 0 e 900 kg ha⁻¹ de Si, dentro dos fatores lâmina e modos de aplicação de silício. A Figura que representa o IAF será apresentada a seguir no tópico de índices fisiológicos.

Tabela 30 – Funções para variação do índice de área foliar (IAF) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

Tratamentos ⁽¹⁾	Modelo exponencial quadrático	r ²
0 F S	$Y = (4,3257E-02) * EXP((9,2082E-02) * X + (-5,443E-04) * X^2)$	0,97
300 F S	$Y = (7,183E-02) * EXP((7,9734E-02) * X + (-4,6971E-04) * X^2)$	0,99
600 F S	$Y = (9,9642E-02) * EXP((7,0866E-02) * X + (-4,0899E-04) * X^2)$	0,95
900 F S	$Y = (3,0441E-02) * EXP((0,103) * X + (-5,9292E-04) * X^2)$	0,99
0 NF S	$Y = (4,9289E-02) * EXP((9,7381E-02) * X + (-5,9161E-04) * X^2)$	0,99
300 NF S	$Y = (4,3081E-02) * EXP((9,0718E-02) * X + (-5,1297E-04) * X^2)$	0,99
600 NF S	$Y = (0,0757) * EXP((8,1443E-02) * X + (-4,8553E-04) * X^2)$	0,97
900 NF S	$Y = (1,5935E-02) * EXP((0,1142) * X + (-6,2962E-04) * X^2)$	0,98
0 F I	$Y = (2,6625E-02) * EXP((0,1048) * X + (-5,5694E-04) * X^2)$	0,99
300 F I	$Y = (0,1536) * EXP((7,107E-02) * X + (-3,9471E-04) * X^2)$	0,85
600 F I	$Y = (9,2365E-02) * EXP((8,5106E-02) * X + (-4,7327E-04) * X^2)$	0,95
900 F I	$Y = (0,1014) * EXP((8,3659E-02) * X + (-4,5728E-04) * X^2)$	0,99
0 NF I	$Y = (0,2205) * EXP((0,0578) * X + (-2,9641E-04) * X^2)$	0,98
300 NF I	$Y = (8,8457E-02) * EXP((7,9924E-02) * X + (-4,1343E-04) * X^2)$	0,97
600 NF I	$Y = (9,796E-02) * EXP((7,9401E-02) * X + (-4,2214E-04) * X^2)$	0,97
900 NF I	$Y = (5,3882E-02) * EXP((9,8619E-02) * X + (-5,3828E-04) * X^2)$	0,90

(1) Doses (kg ha⁻¹ Si) : 0, 300, 600 e 900; F-foliar, NF-não foliar; S-sequeiro, I-irrigado

Tabela 31 – Funções para variação da matéria seca do colmo+bainha (MSC) de arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

Tratamentos ⁽¹⁾	Modelo exponencial quadrático	r ²
0 F S	$Y = (3,0845E-03) * EXP((7,9390E-02) * X + (-4,0672E-04) * X^2)$	0,97
300 F S	$Y = (2,7682E-03) * EXP((8,4989E-02) * X + (-4,5055E-04) * X^2)$	0,97
600 F S	$Y = (2,8566E-03) * EXP((8,3186E-02) * X + (-4,1907E-04) * X^2)$	0,96
900 F S	$Y = (2,0846E-03) * EXP((9,4582E-02) * X + (-4,909E-04) * X^2)$	0,99
0 NF S	$Y = (2,4419E-03) * EXP((9,5391E-02) * X + (-5,1381E-04) * X^2)$	0,99
300 NF S	$Y = (2,1724E-03) * EXP((9,0176E-02) * X + (-4,6304E-04) * X^2)$	0,99
600 NF S	$Y = (4,0371E-03) * EXP((7,5758E-02) * X + (-3,9117E-04) * X^2)$	0,85
900 NF S	$Y = (1,6791E-03) * EXP((0,0998) * X + (-5,2115E-04) * X^2)$	0,99
0 F I	$Y = (2,2676E-03) * EXP((9,542E-02) * X + (-4,6725E-04) * X^2)$	0,97
300 F I	$Y = (2,3374E-03) * EXP((9,9369E-02) * X + (-4,9552E-04) * X^2)$	0,97
600 F I	$Y = (2,8988E-03) * EXP((9,0966E-02) * X + (-4,3437E-04) * X^2)$	0,97
900 F I	$Y = (2,5765E-03) * EXP((9,6358E-02) * X + (-4,598E-04) * X^2)$	0,99
0 NF I	$Y = (3,2534E-03) * EXP((9,0332E-02) * X + (-4,4115E-04) * X^2)$	0,99
300 NF I	$Y = (2,634E-03) * EXP((9,273E-02) * X + (-4,42869E-04) * X^2)$	0,99
600 NF I	$Y = (1,4296E-03) * EXP((0,1084) * X + (-5,2922E-04) * X^2)$	0,97
900 NF I	$Y = (3,5325E-03) * EXP((0,0906) * X + (-4,4251E-04) * X^2)$	0,99

(1) Doses (kg ha⁻¹ Si) : 0, 300, 600 e 900; F-foliar, NF-não foliar; S-sequeiro, I-irrigado

Tabela 32 – Funções para variação da matéria seca das folhas (MSF) de arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

Tratamentos ⁽¹⁾	Modelo exponencial quadrático	r ²
0 F S	$Y = (3,9712E-03) * \text{EXP}((0,0769) * X + (-4,3889E-04) * X^2)$	0,98
300 F S	$Y = (4,5892E-03) * \text{EXP}((7,5241E-02) * X + (-4,3161E-04) * X^2)$	0,97
600 F S	$Y = (4,7038E-03) * \text{EXP}((7,377E-02) * X + (-4,0976E-04) * X^2)$	0,96
900 F S	$Y = (2,5199E-03) * \text{EXP}((9,2336E-02) * X + (-5,1927E-04) * X^2)$	0,99
0 NF S	$Y = (4,352E-03) * \text{EXP}((8,3801E-02) * X + (-4,9129E-04) * X^2)$	0,99
300 NF S	$Y = (3,1707E-03) * \text{EXP}((0,0831) * X + (-4,6198E-04) * X^2)$	0,97
600 NF S	$Y = (4,649E-03) * \text{EXP}((7,7419E-02) * X + (-4,4902E-04) * X^2)$	0,96
900 NF S	$Y = (2,6701E-03) * \text{EXP}((8,9906E-02) * X + (-4,9547E-04) * X^2)$	0,99
0 F I	$Y = (7,1306E-03) * \text{EXP}((6,7033E-02) * X + (-3,4093E-04) * X^2)$	0,99
300 F I	$Y = (1,1153E-02) * \text{EXP}((7,5637E-02) * X + (-3,4883E-04) * X^2)$	0,98
600 F I	$Y = (9,2277E-03) * \text{EXP}((0,0667) * X + (-3,5172E-04) * X^2)$	0,93
900 F I	$Y = (6,8509E-03) * \text{EXP}((7,4015E-02) * X + (-3,7843E-04) * X^2)$	0,99
0 NF I	$Y = (1,3897E-02) * \text{EXP}((0,0544) * X + (-2,7210E-04) * X^2)$	0,96
300 NF I	$Y = (8,7946E-03) * \text{EXP}((6,5380E-02) * X + (-3,2955E-04) * X^2)$	0,95
600 NF I	$Y = (5,7368E-03) * \text{EXP}((7,6307E-02) * X + (-3,9332E-04) * X^2)$	0,98
900 NF I	$Y = (1,0725E-02) * \text{EXP}((6,607E-02) * X + (-3,5237E-04) * X^2)$	0,88

(1) Doses (kg ha⁻¹ Si) : 0, 300, 600 e 900; F-foliar, NF-não foliar; S-sequeiro, I-irrigado

Tabela 33 – Funções para variação da matéria seca total da planta (MST) de arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

Tratamentos ⁽¹⁾	Modelo exponencial quadrático	r ²
0 F S	$Y = (1,0028E-02) * \text{EXP}((6,6196E-02) * X + (-3,2972E-04) * X^2)$	0,97
300 F S	$Y = (9,6527E-03) * \text{EXP}((6,9796E-02) * X + (-3,5704E-04) * X^2)$	0,94
600 F S	$Y = (1,0708E-02) * \text{EXP}((6,6E-02) * X + (-3,1530E-04) * X^2)$	0,96
900 F S	$Y = (6,401E-03) * \text{EXP}((8,2544E-02) * X + (-4,1872E-04) * X^2)$	0,99
0 NF S	$Y = (9,2279E-03) * \text{EXP}((7,793E-02) * X + (-4,0891E-04) * X^2)$	0,99
300 NF S	$Y = (6,4503E-03) * \text{EXP}((7,9004E-02) * X + (-3,9466E-04) * X^2)$	0,97
600 NF S	$Y = (1,1017E-02) * \text{EXP}((6,8083E-02) * X + (-3,475E-04) * X^2)$	0,90
900 NF S	$Y = (6,3302E-03) * \text{EXP}((8,1778E-02) * X + (-4,0670E-04) * X^2)$	0,99
0 F I	$Y = (9,8997E-03) * \text{EXP}((7,3399E-02) * X + (-3,3123E-04) * X^2)$	0,99
300 F I	$Y = (1,1153E-02) * \text{EXP}((7,5637E-02) * X + (-3,4883E-04) * X^2)$	0,98
600 F I	$Y = (0,0117) * \text{EXP}((7,3382E-02) * X + (-3,3621E-04) * X^2)$	0,99
900 F I	$Y = (0,0132) * \text{EXP}((6,9895E-02) * X + (-2,9422E-04) * X^2)$	0,99
0 NF I	$Y = (1,964E-02) * \text{EXP}((5,9294E-02) * X + (-2,46E-04) * X^2)$	0,99
300 NF I	$Y = (1,3813E-02) * \text{EXP}((6,6919E-02) * X + (-2,8629E-04) * X^2)$	0,99
600 NF I	$Y = (7,7032E-03) * \text{EXP}((8,1583E-02) * X + (-3,6705E-04) * X^2)$	0,99
900 NF I	$Y = (1,6626E-02) * \text{EXP}((0,0678) * X + (-3,0651E-04) * X^2)$	0,98

(1) Doses (kg ha⁻¹ Si) : 0, 300, 600 e 900; F-foliar, NF-não foliar; S-sequeiro, I-irrigado

6.2.6.1.2.1 Matéria seca do colmo+bainha (MSC)

A tendência de variação do MSC nas diferentes épocas de coletas, as quais representam os estádios fenológicos da planta de arroz, sendo eles o máximo perfilhamento, ponto de diferenciação floral, emborrachamento, florescimento e maturação, está apresentada na Figura 23. O acúmulo de matéria seca no colmo+bainha é maior no tratamento irrigado que no sequeiro. Ao contrário do irrigado que mantém a MSC do emborrachamento até o final do ciclo, o tratamento de sequeiro apresenta morte de colmos, ou seja de plantas, após o florescimento, devido a deficiência hídrica. Segundo Machado et al. (1996) a fitomassa seca dos colmos é menor nas plantas sob deficiência hídrica, devido à remobilização de reservas dos colmos, para suprir as panículas.

Praticamente não houve diferenças entre os tratamentos quando a cultura foi mantida em condições de sequeiro. Para o irrigado, a aplicação foliar de silício quando não houve adição de Recmix ao solo, também não teve efeito, pois as diferenças entre 0 F e 0 NF ocorreram desde o início do ciclo, e quando aplicou-se Si foliar no ponto de algodão estas diferenças não se alteraram. No entanto, quando o Recmix foi aplicado, o tratamento foliar respondeu melhor, pois houve aumento na MSC após o ponto de algodão, em relação ao 900 NF.

Em relação ao silício no solo nota-se que, a adição de 900 kg ha⁻¹ de Si aumentou a MSC, sendo que quando não aplicou-se a foliar este aumento foi de menor magnitude.

Ao que parece a aplicação foliar responde mais quando o solo já contém teores de silício mais elevados, como é o caso da adição de Recmix, talvez porque a quantidade aplicada via foliar seja insuficiente para favorecer o acúmulo de MSC quando não há outra fonte sendo utilizada.

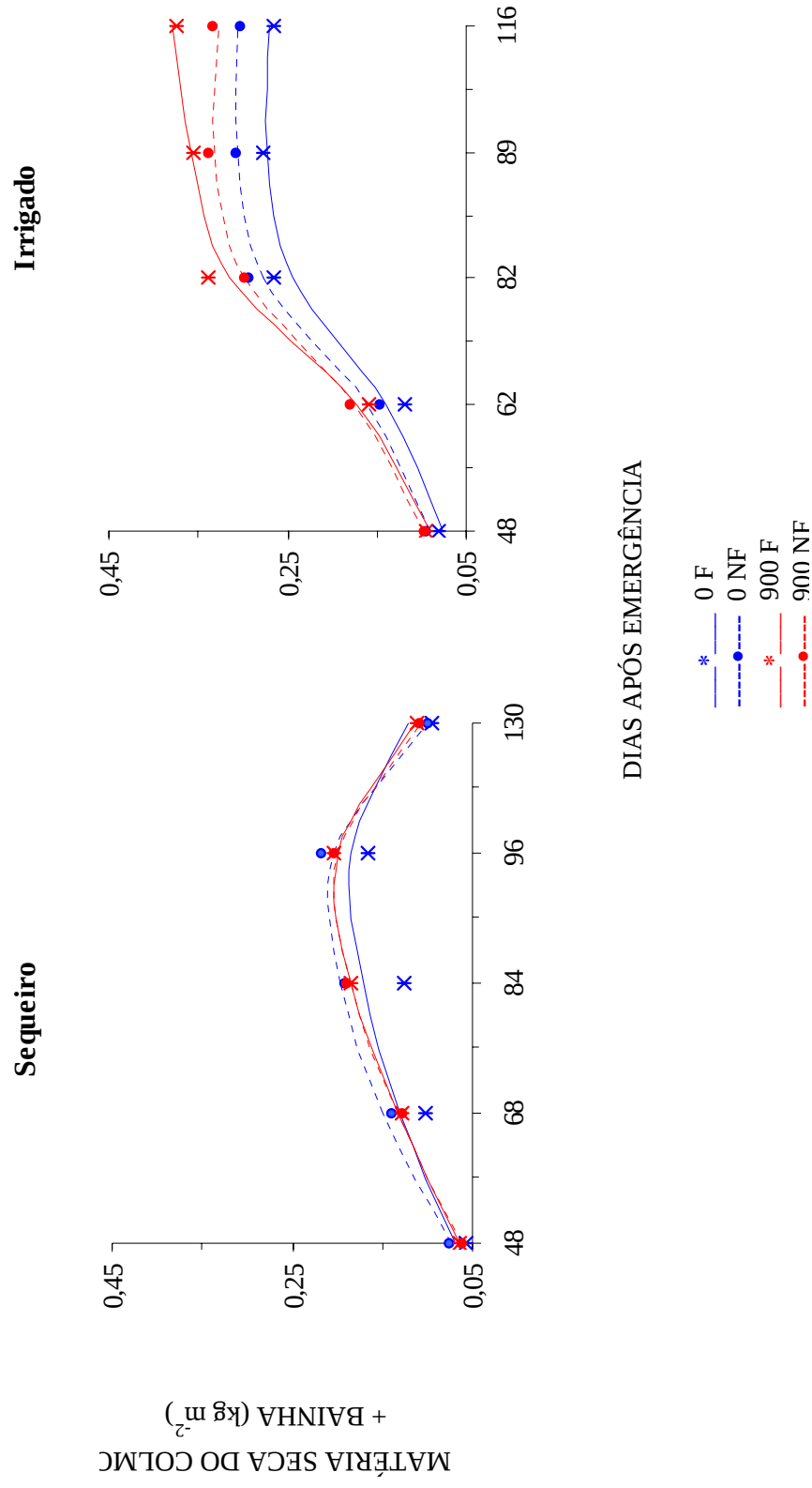


Figura 23 – Matéria seca do colmo+bainha da planta de arroz (kg m⁻²) em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

6.2.6.1.2.2 Matéria seca das folhas (MSF)

Na Figura 24 está apresentada a tendência de variação da MSF nas diferentes épocas de coletas. Observa-se que as plantas mantidas em boas condições hídricas acumularam mais matéria seca nas folhas (MSF) que as de sequeiro. No tratamento irrigado o máximo de acúmulo da MSF ocorre por volta do emborrachamento, na ausência de silício no solo; já com a adição do Recmix o máximo acúmulo ocorre mais próximo do florescimento, sendo que após este estágio fenológico a tendência é de queda, para ambos tratamentos, devido à senescência das folhas. Para o sequeiro o máximo acúmulo é próximo do florescimento e a queda da MSF é mais acentuada após o florescimento. Aguiar Netto (1997) obteve valores decrescentes, próximos a zero, da MSF em menor lâmina de irrigação em seu trabalho com batata, e citando Krudev (1994) relata que isto indica uma senescência foliar precoce dessas plantas e acelerado envelhecimento das mesmas.

A aplicação foliar de silício não teve efeito na MSF, quando não foi feita adição do elemento no solo, devido às diferenças ocorridas serem anteriores ao tratamento foliar. Já quando o Recmix foi aplicado a foliar apresentou efeito positivo na MSF, no irrigado o acúmulo de matéria seca aumentou em relação ao 900 NF.

Com a adubação de silício ao solo, em conjunto com o tratamento foliar (900 F), a MSF é maior que o tratamento 0 F desde o início, porém quando é realizada a aplicação foliar no ponto de algodão esta diferença aumenta. Já quando não é feito o Si foliar, no tratamento irrigado a dose de 900 kg ha⁻¹ de Si aumenta a MSF, mas no sequeiro não há diferença.

Para o acúmulo de MSF a adubação foliar mostrou novamente ser mais eficiente quando o solo já apresenta teor de silício considerável.

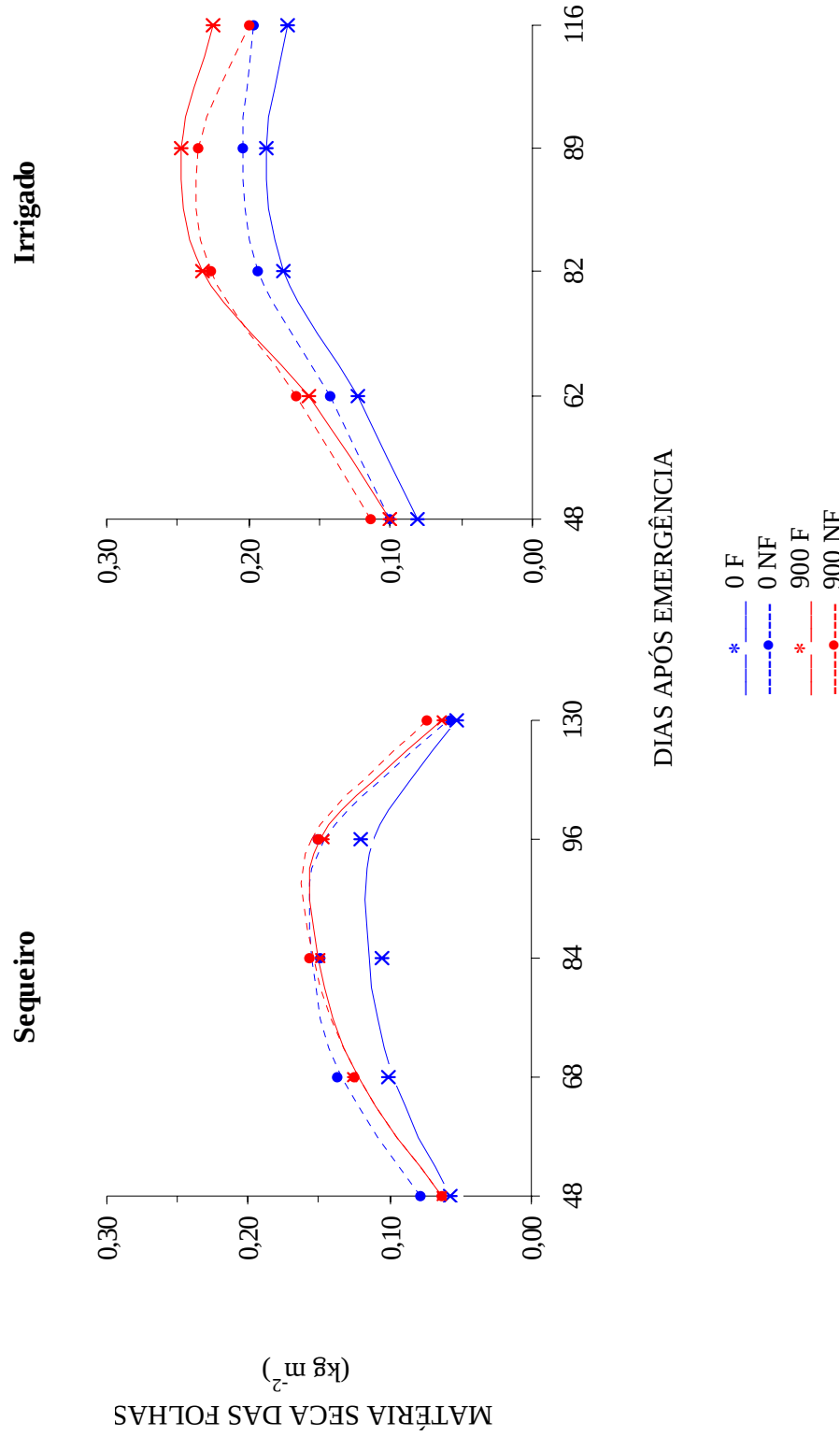


Figura 24 – Matéria seca das folhas da planta de arroz (kg m⁻²) em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

6.2.6.1.2.3 Matéria seca das panículas (MSP)

Pela Figura 25 pode-se observar o comportamento do acúmulo da matéria seca das panículas, nas duas últimas amostragens, para os diferentes tratamentos. As barras verticais indicam desvios-padrões, sendo que cada ponto representa a média de quatro repetições.

O acúmulo da MSP para o irrigado foi maior que no sequeiro, o que inferiu nas diferenças da produtividade de grãos. No irrigado, quando compara-se 0 F e 0 NF, nota-se que a foliar apresentou um acúmulo menor de matéria seca nas panículas; entre 900 F e 900 NF as diferenças foram pequenas. No entanto quando o silício é adicionado ao solo, seja na presença ou ausência da foliar, a MSP aumenta. Para o sequeiro praticamente não houve diferenças quanto ao acúmulo de matéria seca das panículas devido aos tratamentos.

6.2.6.1.2.4 Matéria seca total da planta (MST)

A tendência de variação da MST da planta nas diferentes épocas de coletas, pode ser observada na Figura 26. Pode-se observar que o acúmulo de matéria seca no tratamento irrigado é maior que no sequeiro. Santos e Costa (1997) também obtiveram maiores taxas de matéria seca total em tratamento com irrigação.

O acúmulo de MST no tratamento irrigado continua até o final do ciclo, no entanto quando as plantas cresceram em condições de sequeiro, após o florescimento há uma queda na curva de MST da planta. Segundo Pinheiro (1999) a fitomassa seca total continua crescendo após o florescimento até completar-se o processo de enchimento de grãos. Isto implica que não houve enchimento de grãos expressivo, devido à ocorrência de brusone no pescoço da panícula, ocorrendo também queda na produção de matéria seca total da planta devido à senescência das folhas e queda da matéria seca do colmo+bainha. Apesar de ter ocorrido doença no irrigado também este continua acumulando MST, pois apresentou elevado número de colmos/m² e de panículas/m².

Analisando o efeito do silício foliar e no solo, pode-se perceber que tanto no sequeiro como no irrigado, a aplicação do Si foliar, sem a adição do mesmo ao solo,

não influenciou a produção de MST, pois anteriormente à aplicação foliar o tratamento 0 NF apresentava valores superiores ao 0 F, e após o Si foliar, na época do emborrachamento (69 e 62 DAE para sequeiro e irrigado, respectivamente) este comportamento se manteve, igualmente aos dados de MSC e MSF. Avaliando-se o efeito da adubação foliar quando foi adicionado Si ao solo, percebe-se também que não houve efeito na produção de MST, porém no irrigado após o florescimento esta possibilitou um crescimento mais acentuado, devido ao acúmulo da MSC.

Com o silício adicionado ao solo na forma de Recmix, juntamente com a foliar, houve aumento na MST da planta, tanto no sequeiro quanto no irrigado, sendo que após a aplicação foliar esta diferença aumenta. Quando não foi feita a foliar só para o irrigado, o Si no solo aumentou a MST, pois analisando o gráfico de sequeiro nota-se que no tratamento sem foliar não houve diferença entre dose 0 e 900 kg ha⁻¹ de Si. Carvalho (2000) também obteve aumento da MST com a utilização de escórias de siderurgia como fonte de silício.

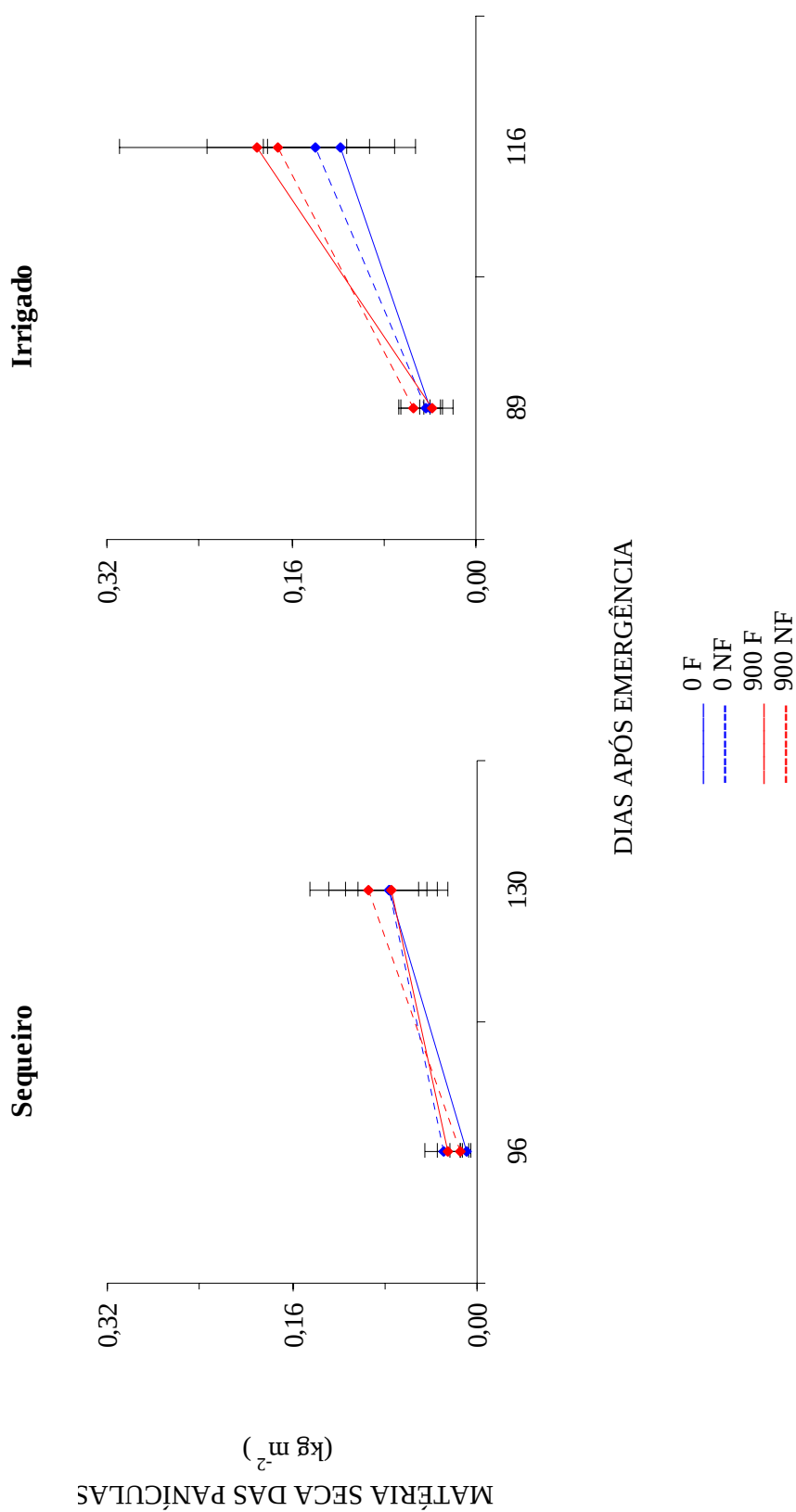


Figura 25 - Matéria seca das panículas da planta de arroz (kg m⁻²) em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

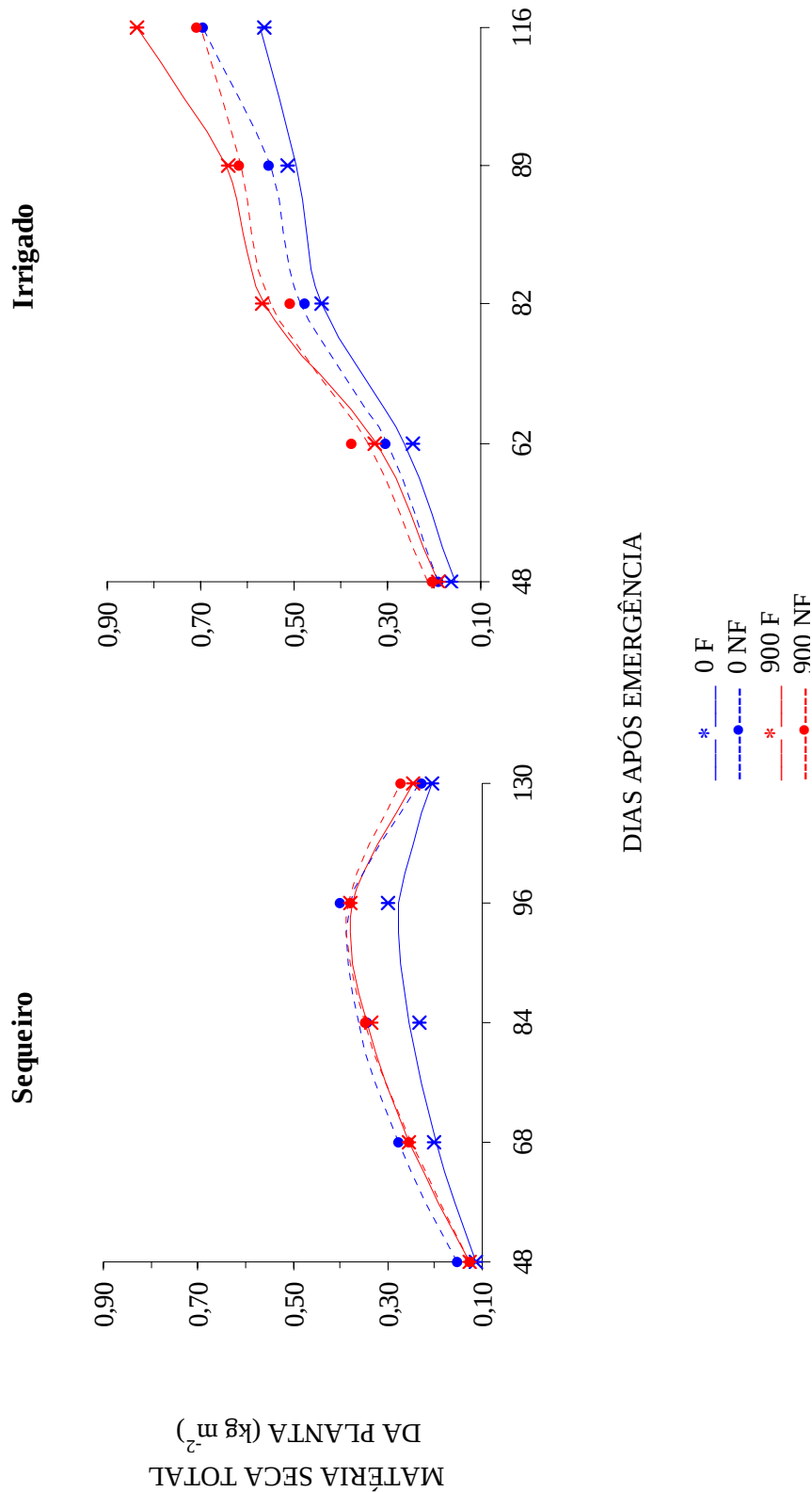


Figura 26 – Matéria seca total da planta do arroz (kg m^{-2}) em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

6.2.6.2 Índices fisiológicos

6.2.6.2.1 Índice de área foliar (IAF)

O IAF é freqüentemente considerado como indicador da intensidade de competição por luz entre plantas individuais, dentro de uma população (WATSON, 1952). Já Hunt (1982) relata o IAF como um índice da eficiência funcional das partes produtivas de um vegetal. Pereira e Machado (1987) o consideram como a capacidade que a cultura tem de explorar o espaço disponível.

Na Figura 27 está apresentada a tendência de variação do IAF nas diferentes épocas de coletas. A unidade define a área foliar em m^2 pela área terreno em m^2 em relação ao tempo.

O IAF do tratamento sequeiro apresentou valores menores que o irrigado, praticamente durante todo o ciclo da cultura. Santos e Costa (1997) obtiveram aumento no valor de IAF com a suplementação hídrica na cultura do arroz, além de Oliveira (1995) que verificou que o uso de lâminas de maior potencial hídrico proporcionaram maiores índices de área foliar. Segundo Azevedo et al. (1971), citados por Pinheiro et al. (1990), a expansão da área da folha é um processo extremamente suscetível à deficiência hídrica, e que pequenas quedas do potencial da água nas folhas afetam seu tamanho final. O tratamento de sequeiro apresentou menor número de colmos/ m^2 , conseqüentemente menor perfilhamento da planta, com isso a planta apresentou baixos valores de IAF, o que segundo Pinheiro e Guimarães (1990) vai reduzir seu potencial produtivo, caso retornar a condições favoráveis. A produtividade de grãos no tratamento de sequeiro foi menor em relação ao irrigado, se relacionando com o perfilhamento e conseqüentemente com o IAF.

Em ambos tratamentos, sequeiro e irrigado, após o pico do IAF próximo do florescimento (quarta coleta) há uma queda de valores, segundo Murata e Matsushima (1975) o IAF alcança seu valor máximo um pouco antes da floração e decresce após, devido à senescência das folhas inferiores. Além da senescência foliar, após o florescimento a planta cessa a emissão de folhas.

No tratamento irrigado a adubação foliar de silício, quando não foi adicionado o mesmo ao solo, igualou o IAF com o 0 NF após o ponto de diferenciação floral, época de aplicação, porém após o florescimento apresentou uma queda mais rápida. Caso tivesse sido realizadas aplicações consecutivas de silício na folha, provavelmente não haveria esta queda e possivelmente os valores de IAF seriam maiores. Já para o sequeiro não houve efeito da aplicação foliar, pois o comportamento inicial entre 0 F e 0 NF foi mantido até o final do ciclo; quando ocorre boa hidratação da cutícula a penetração foliar dos nutrientes é favorecida, o que não acontece no tratamento sequeiro. No entanto, quando o solo foi adubado com silício o efeito da aplicação foliar no IAF, tanto para o irrigado como para o sequeiro foi negativo, pois após sua aplicação o IAF ficou pouco abaixo do 900 NF.

Com a adição de silício ao solo os valores do IAF aumentaram, tanto para o irrigado como para o sequeiro, quando comparados os tratamentos que tiveram adição de Si na folha (0 F x 900 F). Quando não houve o tratamento foliar, o irrigado continua a apresentar valores de IAF maiores com o uso do Recmix, no entanto no sequeiro o efeito só é visualizado após o emborrachamento. De maneira geral, no tratamento de sequeiro o efeito da adição de silício ao solo foi pequeno, devido à baixa disponibilidade de água o que resultou em menores teores de silício no tecido vegetal. Embora Pinheiro et al. (1995), citado por Santos e Costa (1997) relatem correlação positiva entre rendimento de grãos e o IAF na floração na ausência de deficiência hídrica, as diferenças ocorridas neste índice e neste estágio, devido à adição de silício ao solo, não se converteram em maior produtividade de grãos, pois não houve diferenças no tratamento dose.

Segundo Takahashi (1995) em plantas de arroz, a absorção de silício aumenta, de acordo com o desenvolvimento das plantas, a expansão da lâmina foliar. Carvalho (2000) também obteve aumento do IAF com acréscimo de silício ao solo.

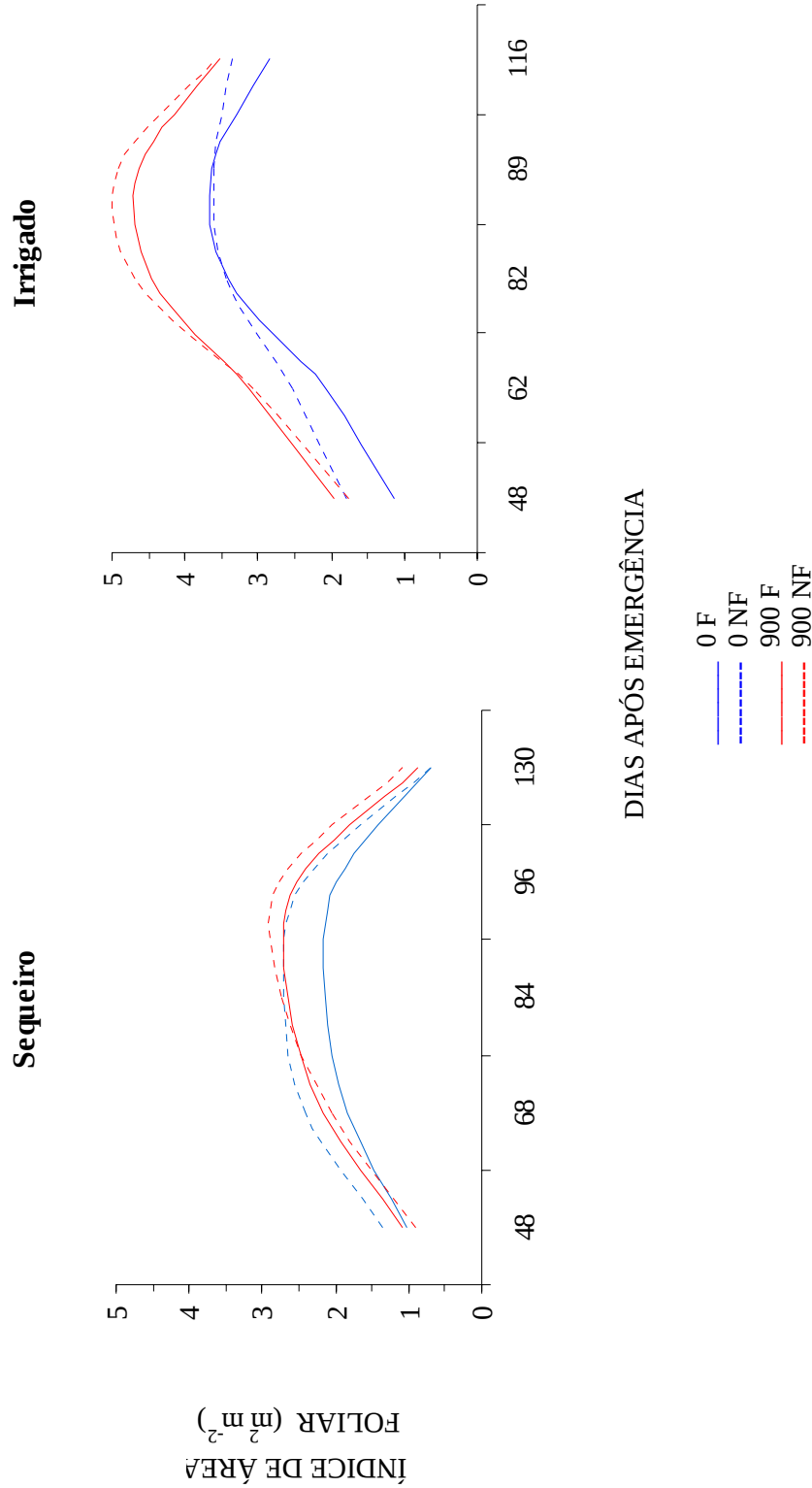


Figura 27 – Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

6.2.6.2.2 Duração da área foliar (DAF)

As formas mais usuais de expressar a área foliar são: o índice de área foliar (IAF), que se refere à relação entre a superfície foliar e a superfície do terreno ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) e a duração da área foliar (DAF), que é a integral da área foliar no tempo (dias) (PINHEIRO, 1999). Segundo Séstak et al. (1971) o termo duração tem ocasionado confusões, porque reflete uma idéia de tempo, conflitando quase sempre com o ciclo das espécies vegetais. Porém, a DAF expressa, em termos quantitativos, quanto tempo a planta mantém sua superfície assimilatória ativa. Watson (1952) definiu a DAF como toda oportunidade para assimilação que a cultura processa durante o período em questão. A unidade completa da DAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2} \times \text{dia}$) está sendo preservada, a fim de enfatizar que apesar de ser um índice, a mesma representa o tamanho relativo do aparelho fotossintético em relação ao tempo. Na Figura 28 está apresentada a tendência de variação da DAF nas diferentes épocas de coletas.

A persistência da área foliar durante o período de crescimento do tratamento irrigado foi maior que o de sequeiro, semelhante às respostas de Santos e Costa (1997) e Oliveira (1995). Ludlow (1975), citado por Pinheiro et al. (1990) relata que a deficiência hídrica acelera o processo de senescência das folhas. Assim no tratamento irrigado, com maior IAF, devido ao maior perfilhamento, juntamente com maior DAF a produtividade de grãos foi maior. Tendo em vista que a DAF é a integral das curvas do IAF em função dos DAE, é coerente que os resultados e os comportamentos dos mesmos sejam semelhantes em relação ao efeito dos tratamentos.

Analizando-se o efeito da aplicação foliar, na ausência de silício aplicado ao solo, percebe-se que tanto para o irrigado como para o sequeiro, a duração da área foliar diminuiu com a foliar. Já quando esta é aplicada na presença de 900 kg ha^{-1} de Si ao solo não ocorre efeito algum. Em relação ao Recmix aplicado ao solo, nota-se que o silício aumentou o tempo de atividade da superfície assimilatória, quando foi realizada a foliar, no entanto na ausência deste tratamento as plantas mantidas em condições de sequeiro diminuíram a DAF. Carvalho (2000) também obteve aumento da DAF com a adubação com silício na cultura do arroz, e citando Agarie et al. (1998a) o silício está associado à prevenção do progresso da senescência foliar, devido à manutenção da fotossíntese e proteção da destruição de clorofila, principalmente em condições de altas temperaturas e baixa umidade.

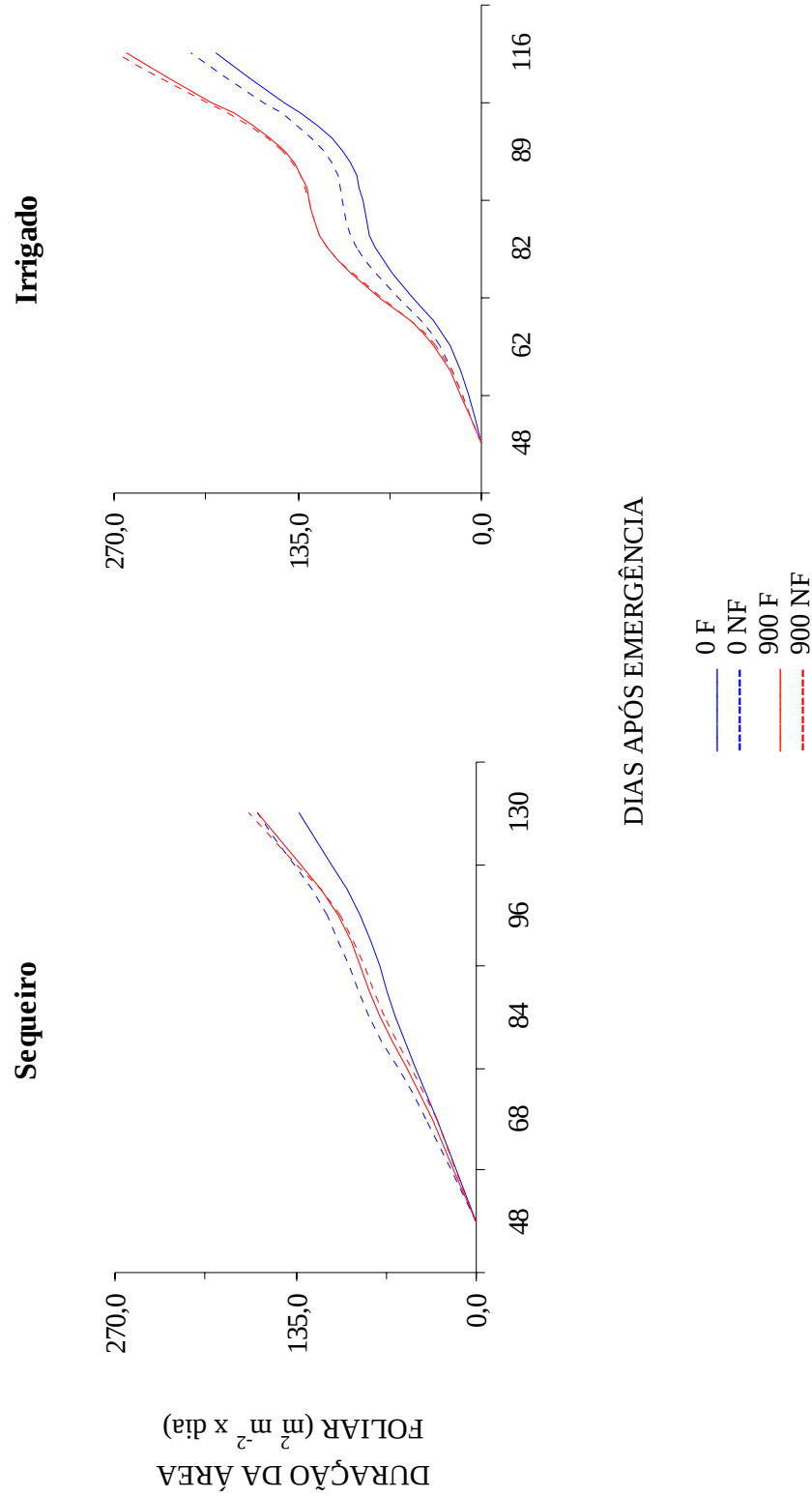


Figura 28 – Duração da área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2} \times \text{dia}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

6.2.6.2.3 Taxa assimilatória líquida (TAL)

O incremento da matéria seca (MS) por área foliar (AF) na unidade de tempo, foi denominado por Briggs et al. (1920b) como razão foliar unitária, sendo atualmente conhecido como taxa assimilatória líquida. A TAL reflete fisiologicamente a fotossíntese líquida, conforme Watson (1952) este índice da análise de crescimento expressa o balanço entre fotossíntese e respiração, sendo fortemente influenciado por fatores externos, especialmente as condições climáticas.

Na Figura 29 está apresentada a tendência de variação da TAL nas diferentes épocas de coletas. Observa-se que entre sequeiro e irrigado o comportamento da queda da TAL, com o decorrer do tempo, foi semelhante, sendo que após o florescimento a queda é mais acentuada. Stone et al. (1988), citados por Oliveira (1995), relatam uma diminuição dos valores da TAL na época da floração. Segundo Milthorpe e Moorby (1974) esse parâmetro fisiológico diminui com a idade, em função do autossombreamento, com a menor capacidade de fotossíntese das folhas mais novas e efeitos de consumo pela planta, além de um aumento proporcional de respiração dos tecidos. Como pôde ser visto os maiores valores de IAF ocorreram no florescimento, causando assim autossombreamento pois houve diminuição da fotossíntese.

Apesar do comportamento semelhante, a queda da TAL no sequeiro, após o florescimento, foi mais rápida e acentuada chegando a valores negativos da TAL, entrando em contradição a Krudev (1994) sobre a ocorrência de uma possível compensação na fotossíntese devido ao tamanho reduzido das folhas, causado pelo estresse hídrico.

Como as coletas iniciaram somente aos 48 DAE não foi possível visualizar o aumento da TAL no início do ciclo, conforme o relato de Kumura e Naniwa (1965), citados por Rodrigues (1990), a TAL aumenta com o crescimento das folhas, atingindo um valor máximo, diminuindo ao atingir-se a senescência.

A diminuição da taxa assimilatória líquida com a idade da planta, devido à senescência foliar é relatado por Rodrigues (1982), Rodrigues (1990), Aguiar Netto (1997) e Alvarez (1999). No entanto existem trabalhos que demonstram aumento da TAL no final do ciclo, como alguns resultados de Aguiar Netto (1997) e Oliveira (1995). Segundo Watson (1952) tal fato pode ser justificado pelas variações intraespecíficas deste índice

fisiológico, bem como pelo uso de diferentes modelos matemáticos para relacionar o IAF e a MS com o tempo, gerando comportamento variado na TAL, como demonstrou Calbo et al. (1989).

Praticamente a fotossíntese líquida, expressa pela TAL, não foi influenciada pela adição de silício no solo e/ou na folha, pois as diferenças ocorridas, seja no sequeiro como no irrigado são muito sutis. Discordando com a afirmação de Takahashi (1995) de que o silício aumenta, de acordo com o desenvolvimento das plantas, o comprimento das lâminas foliares, com a maior expansão foliar maior será a taxa de assimilação de CO₂ por planta.

6.2.6.2.4 Taxa de crescimento da comunidade (TCC)

Segundo Pereira e Machado (1987) a TCC representa a capacidade de produção de fitomassa da cultura, isto é, sua produtividade primária. Na Figura 30 está apresentada a tendência de variação da TCC nas diferentes épocas de coletas.

O tratamento irrigado apresentou maiores valores da TCC quando comparado ao sequeiro, sendo que inicialmente as taxas de crescimento foram aumentando até atingir o máximo e declinaram posteriormente até a maturação. Santos e Costa (1997) obtiveram o mesmo comportamento das taxas de crescimento, sendo que a irrigação proporcionou maiores valores da TCC.

Segundo Stone e Pereira (1994), citados por Oliveira (1995), a TCC depende da diminuição do aparelho assimilador, medido pelo IAF, e da eficiência das folhas em realizar fotossíntese, medida pela taxa assimilatória líquida (TAL). Normalmente, o IAF tem mais influência sobre a TCC, devido ao fato de sofrer mais as interferências do meio ambiente e do manejo da cultura. Oliveira (1995) concluiu em seu trabalho que foi o IAF que influenciou a TCC, no entanto a autora cita que Pereira (1994) observou as mesmas tendências das curvas de TCC e TAL. Entretanto, para este trabalho pode-se observar que os dois índices influenciaram igualmente a TCC, pois o comportamento do declínio é característico da TAL, bem demonstrado no tratamento de sequeiro com valores negativos para os dois parâmetros. Já o IAF influencia a TCC nas diferenças quanto aos tratamentos de silício no solo e na folha, uma vez que para a TAL estes tratamentos não tiveram efeitos significativos.

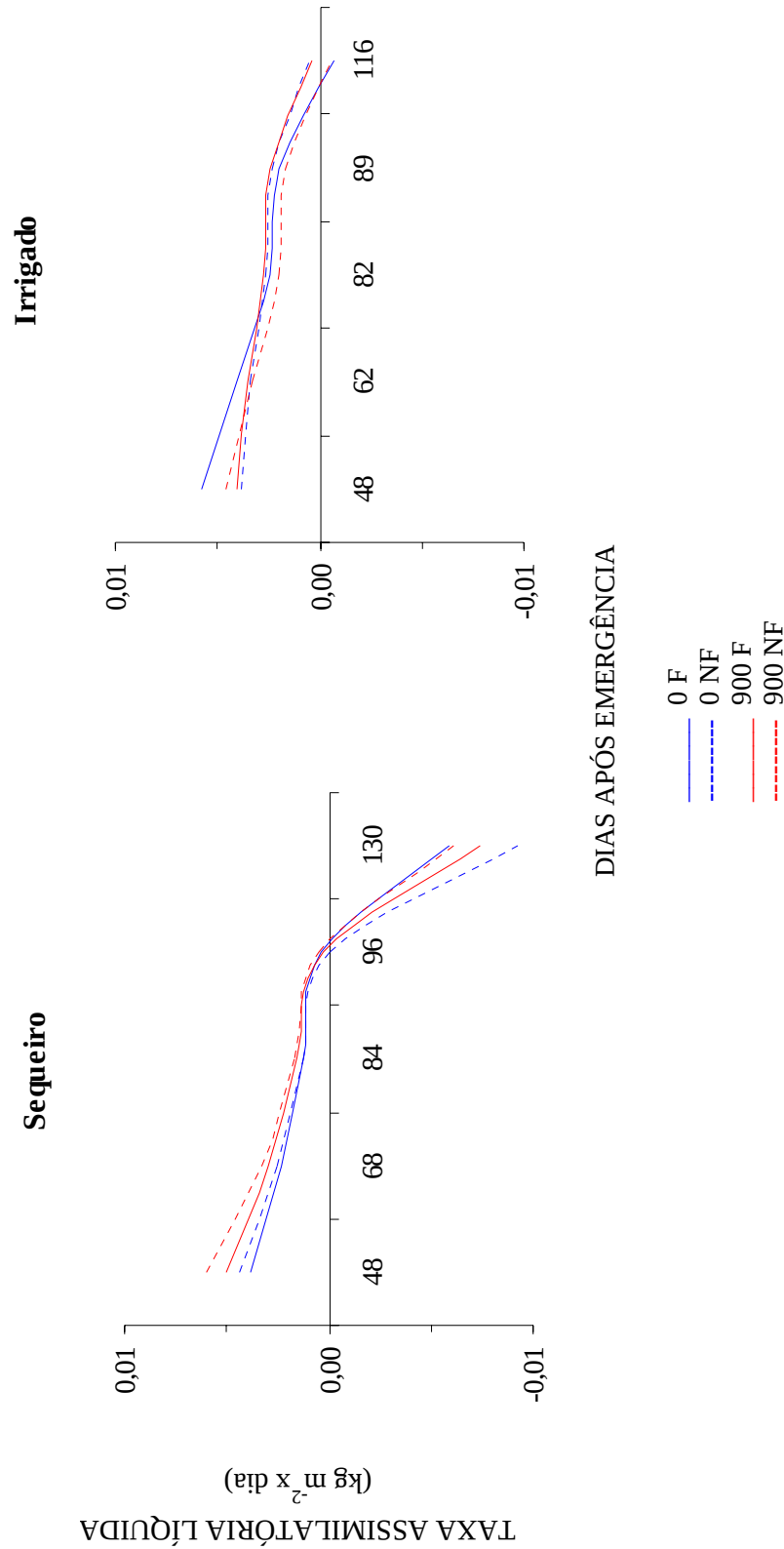


Figura 29 – Taxa assimilatória líquida (kg m⁻² x dia) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

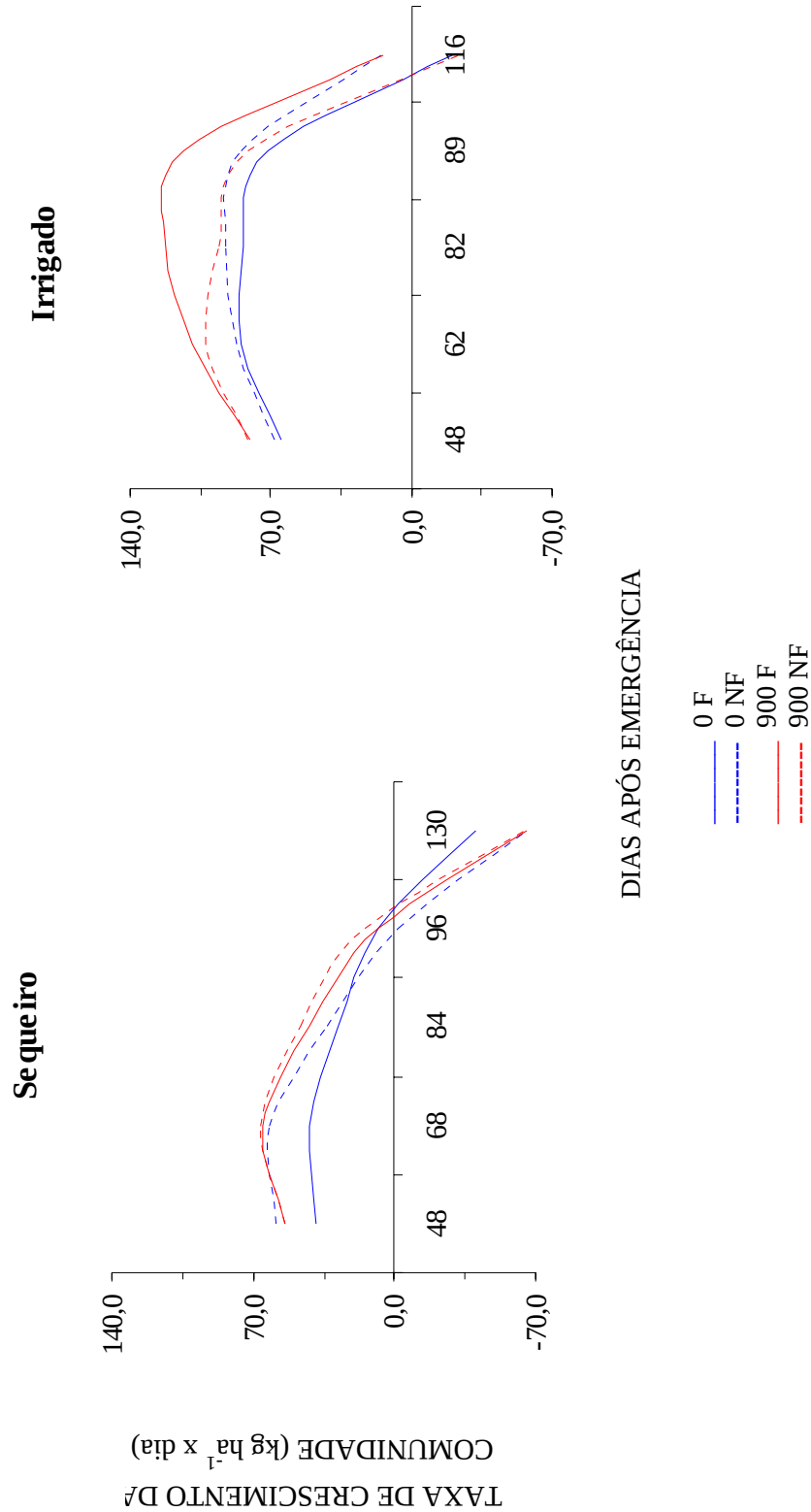


Figura 30 – Taxa de crescimento da comunidade ($\text{kg ha}^{-1} \times \text{dia}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

Portes et al. (2000) em seu trabalho com braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais, encontraram valores negativos da TCC no final do ciclo devido à morte de folhas e colmos. No tratamento de sequeiro a TCC chegou a valores negativos no final do ciclo devido ao declínio da matéria seca total, consequência dos valores da matéria seca das folhas e matéria seca do colmo+bainha, implicando na morte destes órgãos.

A aplicação foliar de silício na ausência do Recmix no solo diminuiu a TCC no tratamento irrigado, porém no sequeiro seu efeito foi mais positivo. Quando Si foi aplicado ao solo, o tratamento foliar em condições de sequeiro não teve efeito, já no irrigado as diferenças na TCC foram enormes.

O silício adicionado ao solo, na presença do tratamento foliar, promoveu aumentos da TCC, nas duas lâminas d'água estudadas. Já na ausência da foliar, as diferenças na TCC devido ao uso do Recmix são bem pequenas. Evidenciando assim a importância da aplicação foliar de silício na taxa de crescimento da cultura.

No tratamento de sequeiro os valores máximos da TCC foram obtidos aos 68 DAE para todos os tratamentos, ou seja no ponto de diferenciação floral. Já no irrigado, os tratamentos 0 F e 900 NF os valores máximos da TCC foram obtidos também no ponto de diferenciação floral, já o 0 NF e 900 F foram obtidos no florescimento.

6.2.6.2.5 Área foliar específica (AFE)

Segundo Radford (1967) a AFE representa as diferenças no espessamento foliar, ou seja, permite verificar se as plantas estão acumulando fotoassimilados em suas folhas ou translocando-os para outros órgãos. Benincasa (1986) considera que a área foliar é um componente morfológico e a massa um componente anatômico de uma espécie vegetal, pois está relacionado à composição interna (número ou tamanho das células do mesofilo foliar), verifica-se, na verdade, que o inverso da AFE reflete a espessura das folhas. Na Figura 31 está apresentada a tendência de variação da AFE nas diferentes épocas de coletas.

A AFE do tratamento irrigado apresenta valores superiores ao de sequeiro. Segundo Larcher (2000) as folhas que se desenvolvem sob condições de um suprimento hídrico deficiente são geralmente menores, fortemente recortadas ou subdivididas e apresentam, também, uma menor área foliar específica (AFE).

A aplicação foliar de silício realizada na ausência do Recmix no solo, teve comportamento diferente entre as lâminas. No tratamento de sequeiro não houve diferenças nos valores da AFE devido a aplicação foliar de Si, pois ocorrem antes dos 68 DAE, sendo que o comportamento dos dois tratamentos (0 F e 0 NF) apresentaram a mesma tendência, ou seja, no início do desenvolvimento, os valores de AFE são maiores, revelando folhas pouco espessas, com pouca matéria seca e pequena área foliar. Com o desenvolvimento da área foliar a matéria seca também se acumula nas folhas, a tal ponto que este acúmulo se torna maior que o próprio crescimento da folha, com isso a AFE decresce, acumulando assim mais reservas, as quais deveriam ser translocadas para a formação da panícula, no entanto após o florescimento houve uma queda nos valores da AFE, revelando aumento da espessura e de reservas de carboidratos, os quais podem não terem sido translocados das folhas, possivelmente devido à incidência da brusone no pescoço da panícula que impede a translocação.

Rodrigues (1990) relata que parece lógico que no início do desenvolvimento vegetativo os valores da AFE devam ser maiores, caindo a seguir e tornando-se constante posteriormente.

No irrigado, quando não adicionou-se silício no solo, o tratamento foliar aumentou a AFE, devido ao aumento do IAF em relação a MSF que não se alterou, com isso a folha tornou-se menos espessa, após o surgimento da panícula houve queda na AFE, implicando que houve acúmulo de reservas nas folhas no final do ciclo. Já quando não foi aplicado Si na folha a AFE foi praticamente constante durante o ciclo, com leve tendência à queda após o florescimento.

Quando o silício é aplicado ao solo o tratamento foliar diminui os valores da AFE, tanto para irrigado como para sequeiro, devido ao aumento da MSF e diminuição do IAF, tornando as folhas mais espessas e com mais carboidratos, que deveriam ser translocados para a panícula, no entanto, como pode ser visualizado na Figura 31, houve queda da AFE após o surgimento da panícula para todos os tratamentos, devido possivelmente

ao surgimento da brusone que impossibilitou a translocação de carboidratos para a formação dos grãos.

Com a adição de silício ao solo juntamente com a foliar (900 F), a AFE no tratamento irrigado apresentou valores maiores que 0 F, porém após a aplicação do Si na folha, a AFE do 900 F decresceu em relação à dose 0 de silício, implicando em aumento da espessura da folha. Já em condições de sequeiro a queda da AFE ocorre desde o início, devido ao teor elevado de silício ao solo, não se alterando após a foliar, revelando assim que nestas condições o silício aumentou a espessura da folha, ficando portanto com mais reservas de carboidratos, que poderiam translocar-se para os grãos caso não tivesse ocorrido doença.

Carvalho (2000) obteve os mesmos resultados aqui obtidos, com o silício diminuindo a AFE, aumentando assim a espessura da folha, podendo estar relacionado à dupla camada de sílica abaixo da cutícula.

Quando o silício é adicionado apenas via solo, tanto para o sequeiro como para o irrigado, a tendência da AFE durante o ciclo da cultura é aumentar, diminuindo assim a espessura das folhas, e após o surgimento da panícula é decrescer.

Mais uma vez nota-se que, embora tenha sido realizado apenas uma única aplicação foliar, esta torna-se um diferencial em certos comportamentos da planta, como é o caso da AFE e TCC.

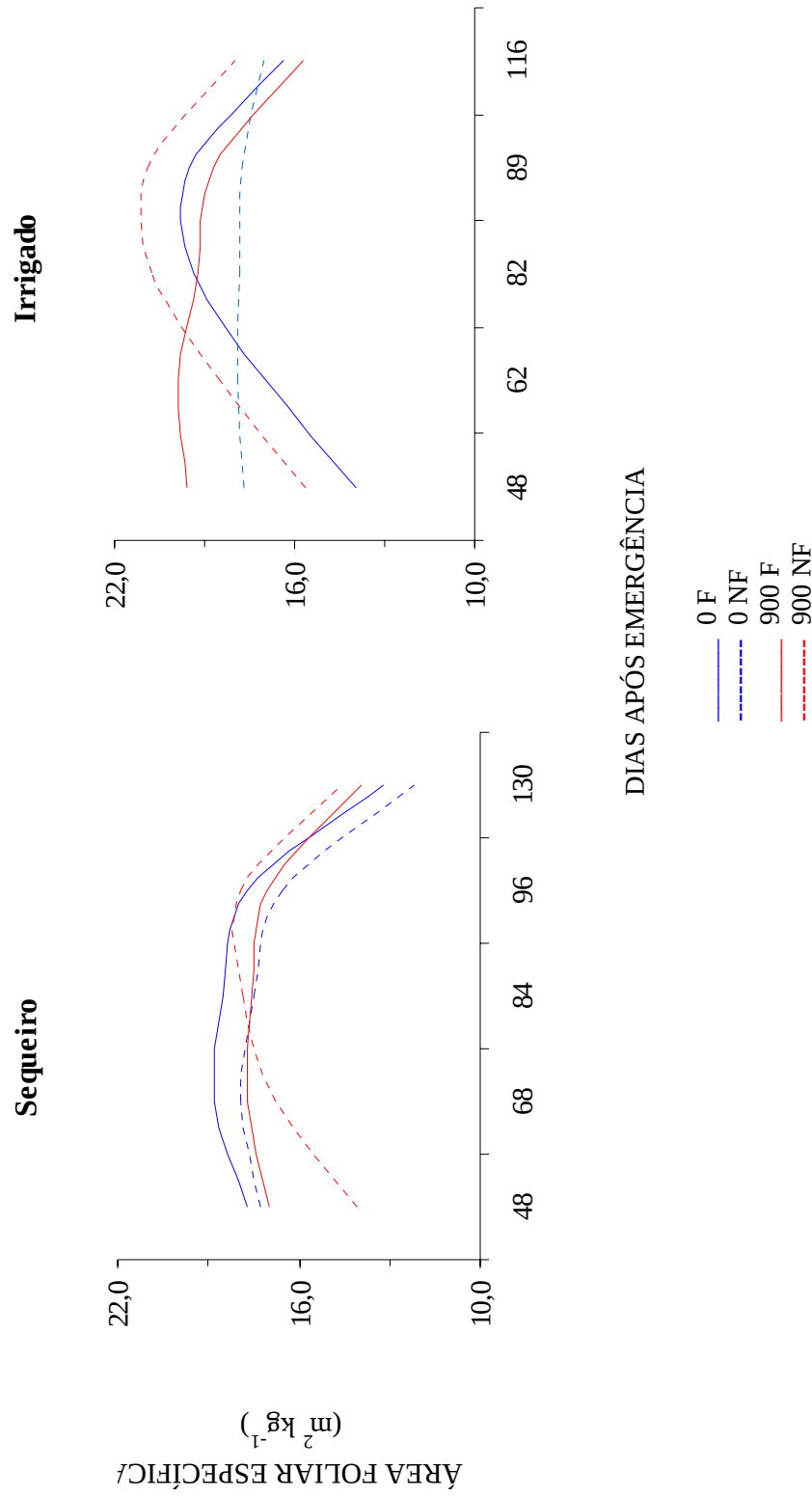


Figura 31 – Área foliar específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

6.2.7 Trocas gasosas

A entrada de CO_2 atmosférico para as células fotossintéticas do mesofilo ocorre pelos estômatos. No entanto, quando estes estão abertos ocorre perda de água da folha para a atmosfera, vivendo portanto a planta um dilema, pois ao mesmo tempo que precisam abrir os estômatos para absorver gás carbônico e assim fotossintetizar, precisam fechá-los para evitar a perda de água. As trocas gasosas na folha variam com as condições ambientais, sendo dependentes das interações entre células do mesofilo e dos estômatos. Segundo Machado e Lagôa (1994) em geral o fluxo de água é centenas de vezes maior que o de CO_2 , a solução adaptada para este dilema é a regulação da abertura estomática, que ocorre por mecanismos complexos, parecendo agir, no entanto, segundo Cowan (1982) citado pelos mesmos autores, no sentido de minimizar as perdas de água, limitando de forma menos intensa o influxo de CO_2 .

Analizou-se os efeitos de diferentes lâminas d'água, aplicação de silício no solo e na folha sobre a taxa de assimilação de CO_2 (fotossíntese – A), taxa de transpiração (E), condutância estomática à difusão de vapor (g), sendo estimada também a eficiência do uso da água (EUA) pela razão entre a fotossíntese (A) e transpiração (E). As Figuras 32, 33, 34 e 35 ilustram a seqüência de eventos que ocorrem durante o ciclo da cultura do arroz, em função dos diferentes tratamentos, para condutância, fotossíntese, transpiração e eficiência do uso da água, respectivamente. Estão sendo representados, apenas os tratamentos das doses 0 e 900 kg ha^{-1} de Si, dentro dos fatores lâmina e modos de aplicação de silício. As barras verticais inseridas nas Figuras indicam os desvios-padrões, sendo que cada ponto representa a média de quatro repetições.

Na Figura 32 observa-se o comportamento da condutância (g) ao longo do ciclo. Segundo Larcher (2000) a condutância da folha para o vapor d'água mantém uma relação linear com a abertura dos estômatos. Pode-se observar que no tratamento irrigado a condutância foi maior, durante o ciclo da cultura, com exceção da primeira e última medida, ou seja no tratamento de sequeiro o estômato permaneceu mais fechado que no irrigado devido à deficiência hídrica do solo. Turner et al. (1985) citados por Sasaki e Machado (1999) relatam que os estômatos podem responder rapidamente, dependendo da umidade do ar ou do solo. Diversos experimentos demonstraram queda na condutância estomática, durante o

dessecação do solo, mesmo quando o potencial de água na folha se manteve constante, com isso Davies et al. (1990), citados por Sassaki e Machado (1999), sugerem que durante o dessecação do solo as raízes podem agir diretamente sobre o controle estomático, por meio de um sinal químico produzido pelas próprias raízes. Davies e Zhang (1991) citados por Gomes et al. (1997) relatam que logo, no início do secamento do solo, as raízes produzem ABA que é translocado para a parte aérea da planta, via xilema, promovendo o fechamento estomático, antes mesmo que ocorra qualquer efeito sobre o potencial da água na folha. O comportamento da condutância estomática ao longo do ciclo da cultura foi de queda, tanto para sequeiro como para irrigado. Larcher (2000) relata que o aparato estomático das diferentes espécies ou genótipos, mesmo entre as folhas de um mesmo indivíduo, responde de forma diversa em função da idade; ou seja o comportamento do aparato estomático durante o desenvolvimento da folha é diferente em comparação ao período de senescência da folha.

Na Figura 33 têm-se o comportamento da fotossíntese (*A*) ao longo do ciclo da planta, para os diferentes tratamentos. A fotossíntese do tratamento sequeiro foi maior que no irrigado na primeira medida das trocas gasosas devido às diferenças na condutância entre sequeiro e irrigado nesta fase, sendo que nela atingiu seu valor máximo de *A* em torno de $20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, decrescendo depois ao longo do ciclo. Porém aos 82 DAE, houve um aumento na *A* devido também à elevação da *g* nesta época. Com exceção desta primeira medida, em todas as outras a fotossíntese do irrigado foi maior, chegando ao valor máximo em torno de $23 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na segunda medida realizada. Os valores máximos de fotossíntese aqui encontrados estão de acordo com os relatados para arroz e outras espécies com metabolismo fotossintético C_3 , conforme Machado et al. (1996). Sassaki e Machado (1999) comentam que vários autores sugerem que a depressão da taxa de assimilação de CO_2 em deficiência hídrica moderada é devida principalmente ao fechamento estomático. O comportamento da fotossíntese foi de queda durante o ciclo, acompanhando a queda na condutância estomática.

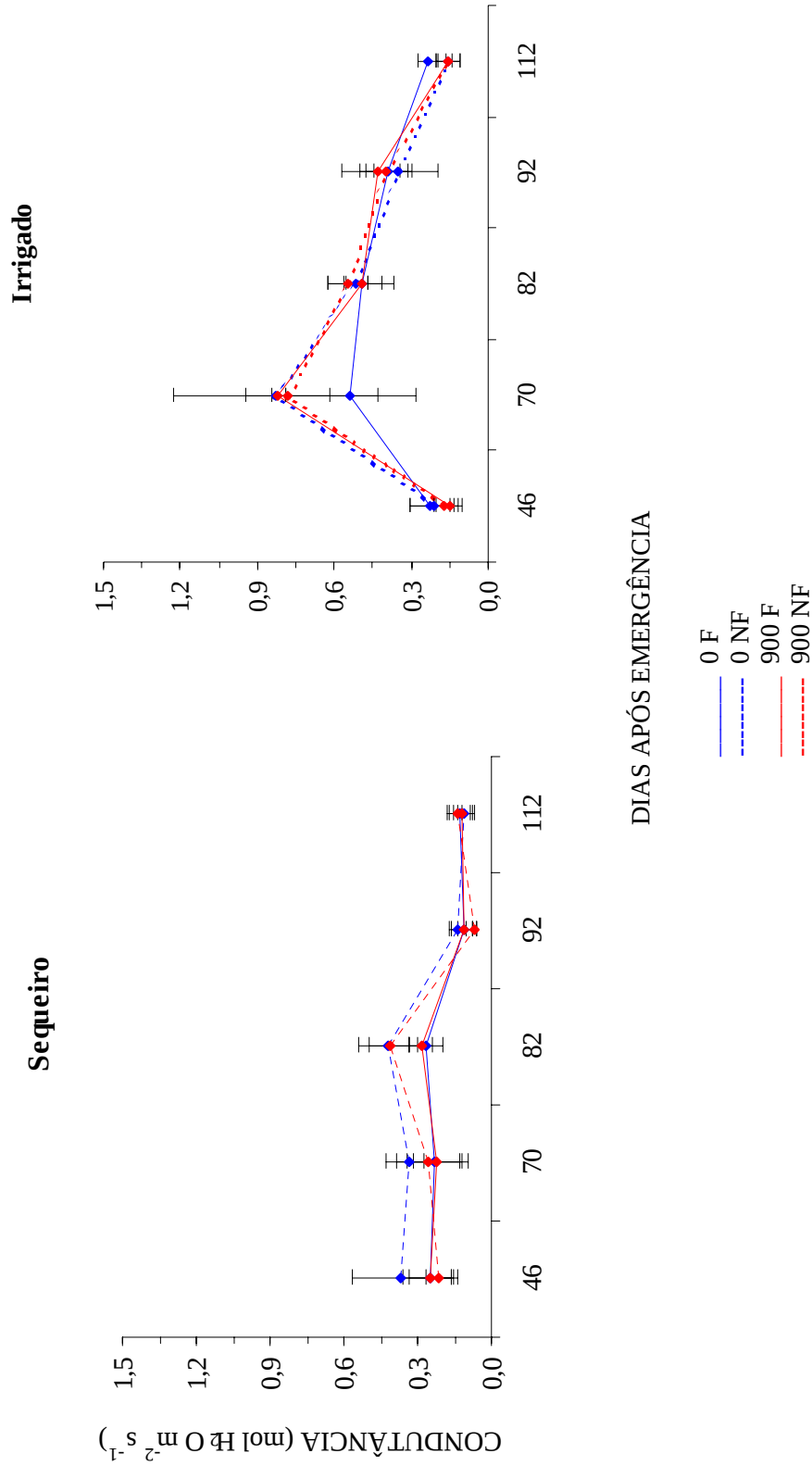


Figura 32 – Condutância (mol H₂O m⁻² s⁻¹) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

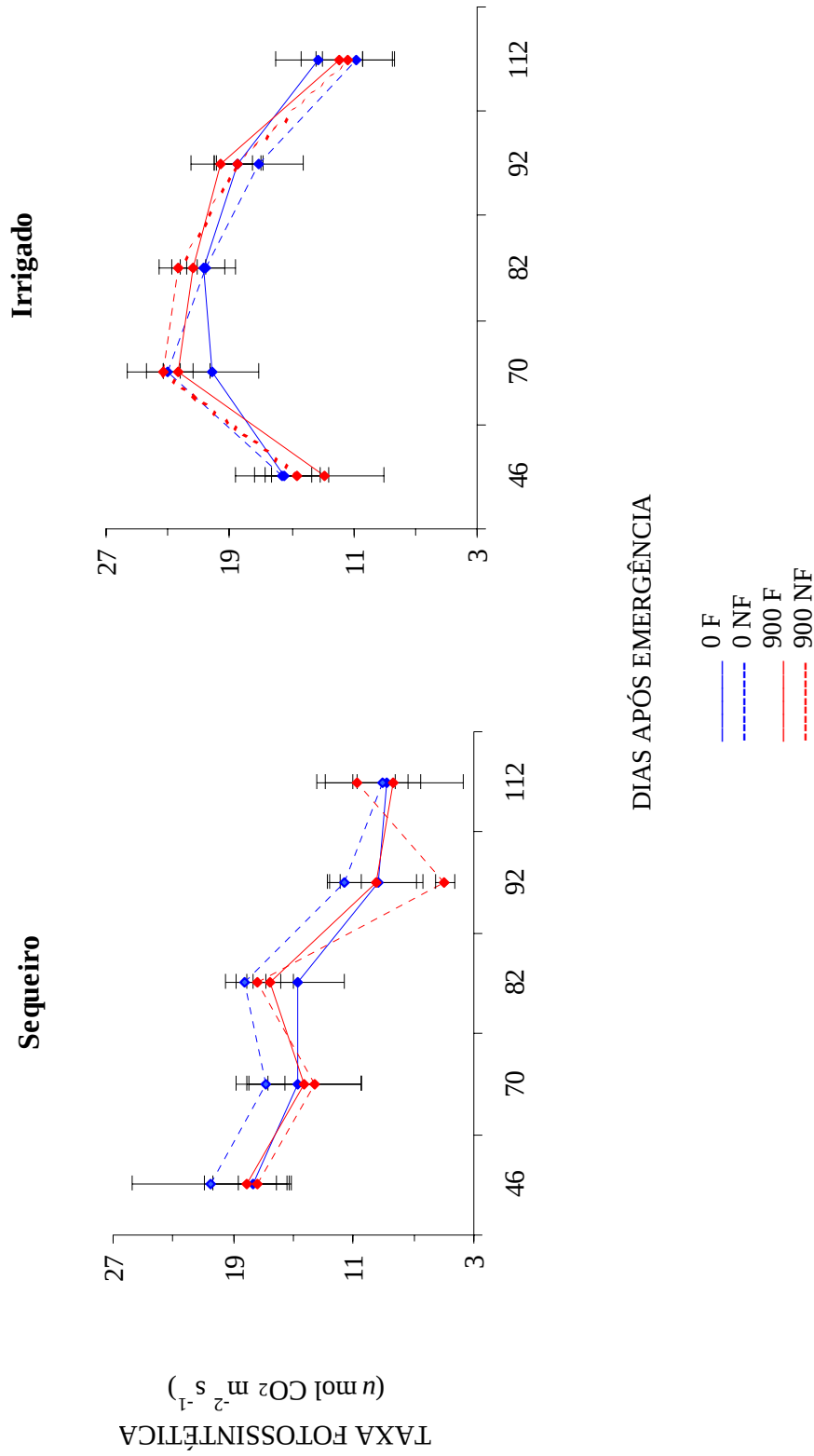


Figura 33 – Taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

O comportamento da transpiração (E) ao longo do ciclo da cultura está representada na Figura 34, na qual percebe-se que a perda de água na cultura do irrigado foi maior que a do sequeiro. Além da presença de mais água no sistema solo-planta-atmosfera, o que possibilita aumento da transpiração em plantas irrigadas, Larcher (2000) relata que folhas que crescem sob condições de deficiência hídrica apresentam uma alteração modificativa, ou seja, apresentam estômatos menores, mas densidade estomática maior, oferecendo assim condições para uma redução mais rápida da transpiração por meio da regulação do fechamento estomático; sendo que características morfológicas desse tipo podem ser o resultado de altos níveis endógenos de ácido abscísico em plantas sob estresse hídrico. Segundo Ekanayake et al. (1993), citados por Gomes et al. (1997), em folhas de arroz, o fechamento estomático, o enrolamento foliar (diminui a superfície de transpiração) e as adaptações morfológicas tais como aumento da resistência cuticular estão associados ao controle da transpiração. Tanto para o tratamento de sequeiro como para o irrigado a tendência da transpiração é acompanhar o comportamento da condutância estomática, que é de queda ao longo do ciclo. Quando ocorre aumento da g a taxa fotossintética aumenta mas também há aumento da taxa transpiratória. Nota-se que na primeira medida a condutância no irrigado foi menor que no sequeiro, inferindo assim na fotossíntese que também foi menor comparativamente; no entanto a transpiração alcançou níveis maiores que no sequeiro, isto implicará numa menor eficiência do uso da água.

O comportamento diferencial das trocas gasosas, principalmente no sequeiro, ocorridos na primeira e quarta medidas estão relacionados à temperatura do ar. Observando-se os dados meteorológicos no Apêndice nos dias referentes às leituras com o Irga, dias 03 e 27 março (medida 1 e 2), 08 e 18 abril (medida 3 e 4) e 08 maio (medida 5), percebe-se que na primeira e quarta medida as temperaturas foram mais elevadas. O aumento da irradiância aumenta a temperatura do ar aumentando também o déficit de pressão de saturação de vapor de água, proporcionando maior demanda transpiratória pelas plantas (MACHADO e LAGÔA, 1994; MACHADO et al., 1996). No entanto Hsiao (1972) relata que sob deficiência hídrica tal demanda não é atendida ocorrendo fechamento dos estômatos e queda da fotossíntese; comentando ainda que a deficiência hídrica afeta vários processos fisiológicos da planta tais como, a fotossíntese, condutância estomática, transpiração e o conteúdo de ácido abscísico.

Na Figura 35 está ilustrada a relação entre fotossíntese e transpiração, expressa pela razão destas duas taxas (A/E), que resultam na eficiência do uso da água (EUA). A eficiência do uso da água expressa quantitativamente o comportamento momentâneo das trocas gasosas na folha (LARCHER, 2000). Segundo Gomes et al. (1997) como o estômato controla a difusão de CO_2 e de vapor d'água, suas respostas à deficiência hídrica são fundamentais no controle da eficiência de assimilação de CO_2 e da economia de água. Como foi discutido anteriormente, a primeira medida do irrigado apresentou baixa EUA , devido ao aumento da A em relação a E . A eficiência do uso da água do sequeiro foi maior que o irrigado, com exceção da quarta medida (92 DAE) que apresentou decréscimo na fotossíntese, fora esta época, os estômatos em condições de deficiência hídrica agiram no sentido de otimizar a relação A/E , como sugerem Gomes et al. (1997). No tratamento irrigado a EUA máxima atingida foi de $3,8 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$, enquanto para o sequeiro foi de $4,7 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$. As taxas de assimilação de CO_2 e de transpiração respondem de forma diferente à abertura estomática, afetando a eficiência de uso da água, pois segundo Machado e Lagôa (1994) E cresce linearmente, em relação ao aumento de g , enquanto A aumenta de forma hiperbólica. Para o tratamento irrigado verifica-se não haver diferenças quanto à adubação com silício, na eficiência de uso da água durante o ciclo da cultura, com exceção da última medida. Porém para o sequeiro nota-se que os tratamentos se diferenciam quanto à eficiência do uso da água.

Devido às dificuldades de se visualizar nas Figuras apresentadas as diferenças nas trocas gasosas em consequência da adubação de silício no solo e na folha, optou-se por fazer para cada dia de medida, a análise de variância pelo teste F dos dados obtidos, sendo a comparação realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, de acordo com Gomes et al. (1997). Os dados de sequeiro e de irrigado foram analisados separadamente. Estão sendo apresentados apenas as épocas que tiveram diferenças significativas, seja para sequeiro ou irrigado, ilustradas na Figura 36.

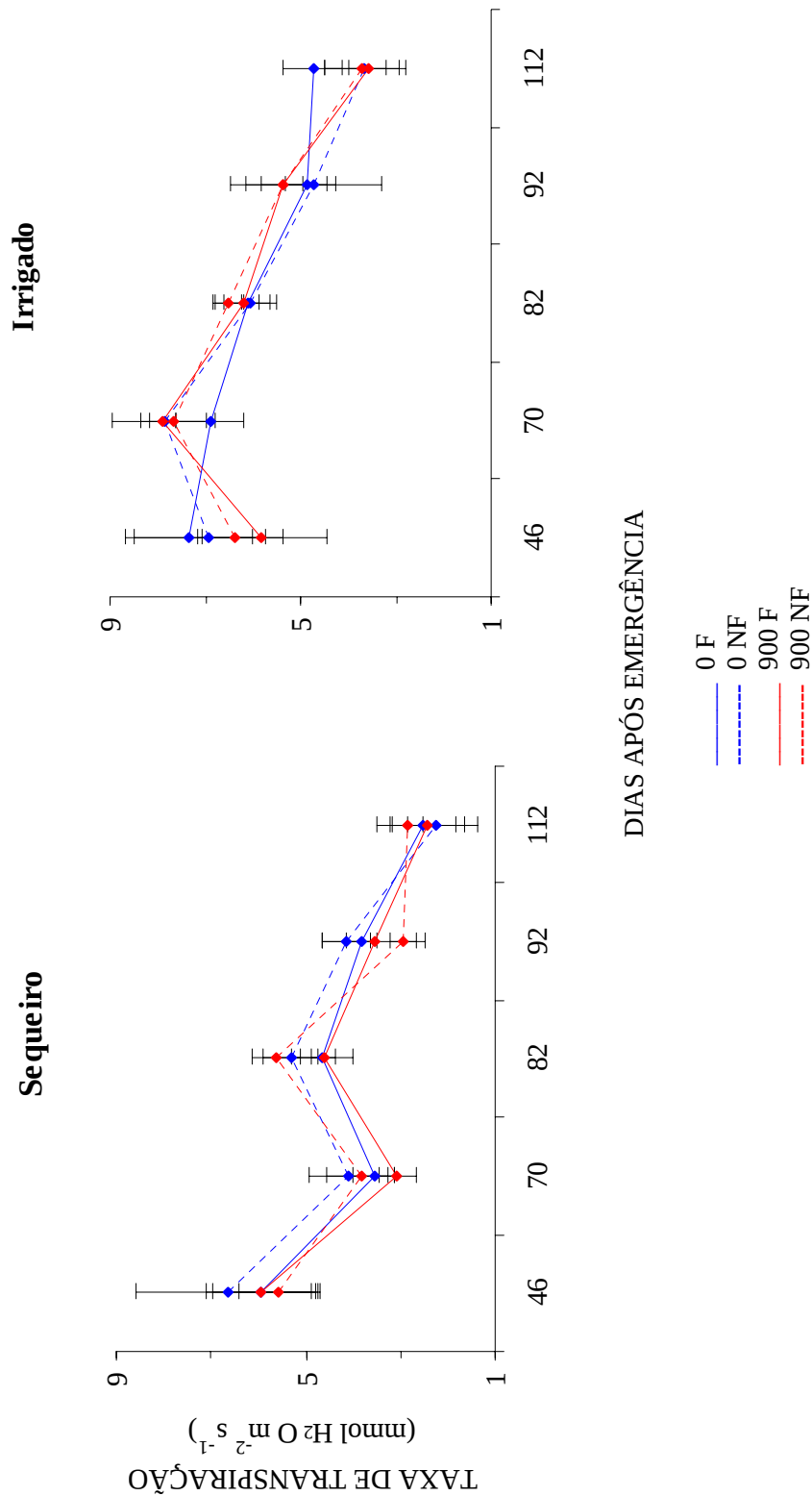


Figura 34 – Taxa de transpiração (mmol H₂O m⁻² s⁻¹) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

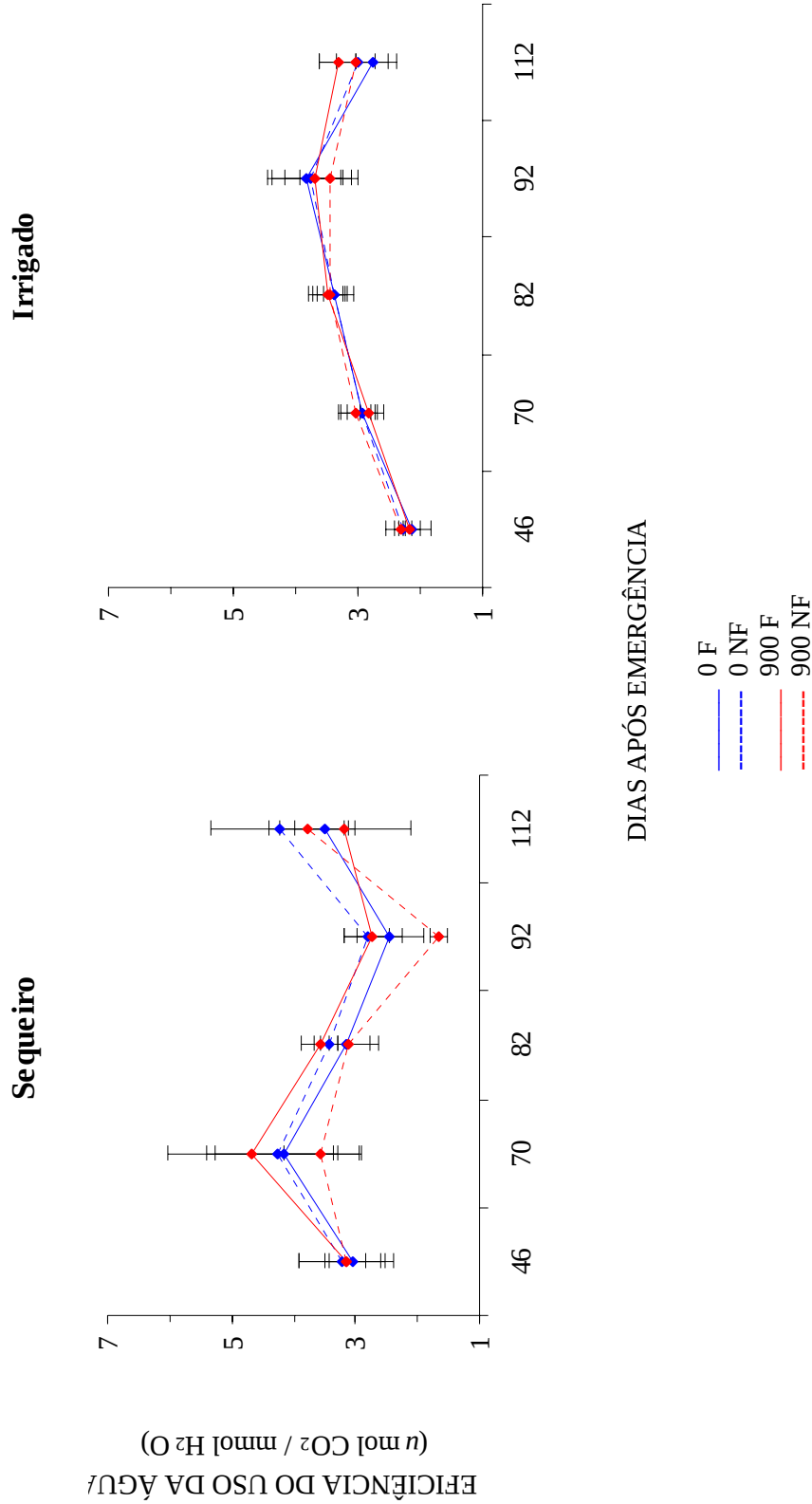


Figura 35 – Eficiência de uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$) do arroz em relação aos dias após emergência, em função da aplicação de doses de silício no solo, disponibilidade de água e aplicação foliar de silício.

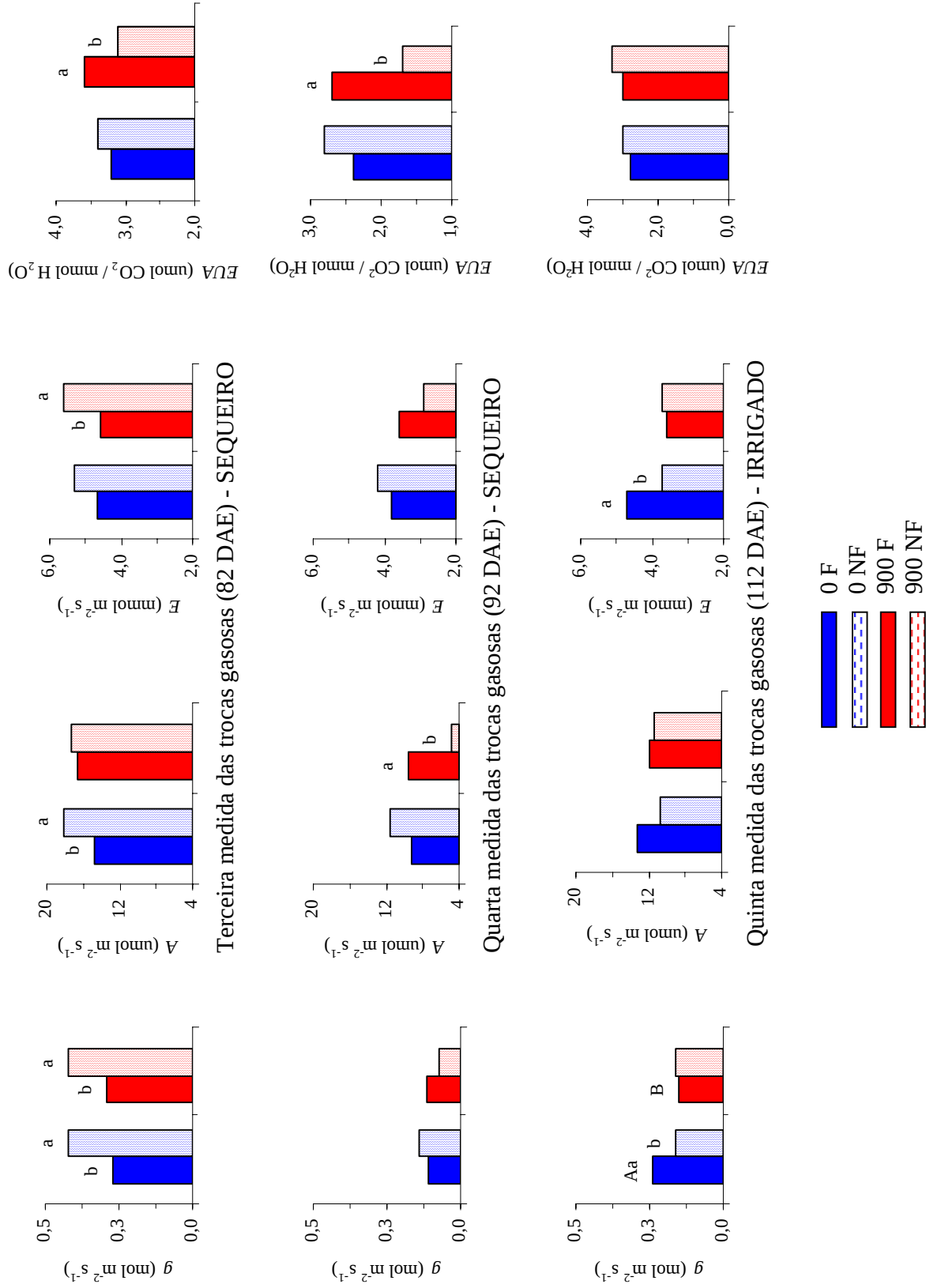


Figura 36 – Trocas gasosas e eficiência do uso da água do arroz do arroz aos 82 e 92 dias após emergência, para o tratamento de sequeiro e aos 112 dias para o irrigado, em função da aplicação de doses de silício no solo e aplicação foliar de silício.

Na Figura 36 observa-se pela terceira medida das trocas gasosas que a aplicação foliar de silício aos 69 DAE, no tratamento de sequeiro, alterou as trocas gasosas, sendo que quando o mesmo não foi adicionado ao solo na forma de Recmix, a condutância estomática (g) diminuiu significativamente, diminuindo também A , mas não afetando E e EUA com significância estatística. No entanto quando o silício foliar é aplicado juntamente com sua adição ao solo, a queda de g resulta na diminuição da E , mantendo A e aumentando assim a EUA . Segundo Hutmacher e Krieg (1983) citados por Machado e Lagôa (1994) a ausência de resposta de A ao incremento de g , acima dos valores de saturação, indica que outros mecanismos, além de abertura estomática estão controlando a assimilação de CO_2 . Podendo explicar assim que, embora g tenha diminuído, A não acompanhou esta queda, estando portanto a assimilação de CO_2 ligada, neste caso, a outros fatores. Nota-se também que as diferenças ocorridas nas trocas gasosas pela adição do silício foram ocasionadas apenas pela aplicação foliar, pois sua adição ao solo não interferiu nas taxas aferidas.

Após 23 dias da aplicação foliar e 10 dias após a terceira medida de trocas gasosas, nota-se na Figura 36, pela quarta medida, que o tratamento 900 F continua alterar as trocas gasosas, aumentando EUA , devido às altas taxas de A , quando comparado com a ausência da aplicação foliar (900 NF), sendo que a g e E apresentaram aumentos, os quais não foram significativos.

As diferenças ocorridas aos 112 DAE para o tratamento irrigado, ilustradas na Figura 36, comportam-se diferentemente que no tratamento de sequeiro, pois a aplicação foliar de silício, na ausência de Recmix, aumentou g e conseqüentemente elevou também E . Apenas apresentou efeito positivo na diminuição da condutância estomática quando o silício foi adicionado ao solo juntamente com a foliar, porém não inferiu em diminuição da E e nem aumento na EUA , como ocorre no sequeiro.

A aplicação foliar, juntamente com a adição do silício ao solo, possibilitou às plantas, em condições de sequeiro, um mecanismo mais sensível de movimento estomático, uma vez que os estômatos agiram no sentido de otimizar a relação A/E , como sugeriram Farquhar e Sharkey (1986) e Cowan (1982) citados por Sasaki e Machado (1999). Esta condição pode ser importante em solos de cerrado, com estiagem longa e severa, culminando com altas temperaturas.

Os resultados obtidos estão de acordo com Agarie et al. (1998b), que relatam maior transpiração em plantas crescidas na ausência de silício, devido à abertura inapropriada do estômato em resposta ao estímulo ambiental, pois sugerem que este abre em resposta à luz e umidade relativa mais sensivelmente, e fecha em resposta à redução de luz e aumento da umidade relativa menos sensivelmente que na presença de silício. Sugerem ainda que a sílica em combinação com a cutícula, influencia a regulação estomatal pela limitação das condições de água nas células da epiderme, como uma regulação do transporte de água no sistema epidérmico e perda de água do complexo da célula guarda. Os mesmos autores observaram também que, o uso eficiente da água foi sempre maior em plantas adubadas com silício.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A época que apresentou melhor resposta quanto à aplicação foliar de silício foi a diferenciação floral, sendo que a melhor dose foi de 40 mM L⁻¹ Si.

O Recmix pode ser utilizado como corretivo da acidez do solo devido às semelhanças do seu efeito no solo, elevando o pH; contribuindo também para o desenvolvimento da cultura do arroz, disponibilizando nutrientes como o P, B, Cu, Fe, Mn e Zn. O teor de silício no solo aumentou linearmente com o aumento das doses de Recmix. Na planta, os teores de silício aumentaram, comprovando assim a eficiência da fonte utilizada.

O tratamento irrigado aumentou os teores de N, P e Mg na planta, mas diminuiu os de K, S e Zn. O teor de silício na planta foi maior no tratamento irrigado. Não houve diferença do teor de silício na planta com a aplicação foliar, porém quando estas foram irrigadas a foliar aumentou o silício na planta, influenciando a absorção de nutrientes, como a elevação do teor de P e diminuição dos teores foliares de Fe, Mn e Zn. As plantas irrigadas apresentaram números de colmos, panículas, espiguetas/panícula e espiguetas chochas/panícula maiores que as de sequeiro. Nas plantas irrigadas, o aumento de silício no solo proporcionou aumento linear no número de espiguetas/panícula e de espiguetas chochas/panícula.

Em condições severas de brusone incidente no pescoço da panícula, o silício não apresentou controle satisfatório. O aumento de silício no solo aumentou

linearmente a incidência da brusone no pescoço da panícula, principalmente no irrigado, mesmo com maiores teores de silício na folha bandeira e panícula. Esta elevada incidência de doença inferiu no número de espiguetas chochas/panícula que foi elevado no irrigado. O silício foliar mostrou tendência de diminuir a incidência da brusone na panícula, aumentando também o seu teor na folha bandeira.

A adição de Recmix e o tratamento irrigado aumentaram a altura média da planta, sendo que a adubação foliar não interferiu nesta característica da planta. A matéria seca total da planta aumentou no irrigado, praticamente até o final do ciclo. O acúmulo de matéria seca total e nos diferentes órgãos da planta foi favorecido com a aplicação foliar de silício, em adição ao uso do Recmix. Os índices fisiológicos IAF, DAF, TCC e AFE foram maiores no tratamento irrigado. O Si adicionado ao solo aumentou o IAF, principalmente junto com a foliar; no irrigado tanto o Si aplicado via solo ou foliar aumentaram a DAF. O silício não influenciou a fotossíntese líquida estimada pela TAL. O Si adicionado ao solo, juntamente com a foliar, aumentou a TCC, nas duas lâminas d'água estudadas; porém na ausência da foliar, as diferenças na TCC devido ao uso do Recmix são bem pequenas, evidenciando assim a importância da aplicação foliar de silício na TCC. A aplicação foliar de silício diminui a AFE, aumentando assim a espessura da folha, sendo que quando este é aplicado somente via solo a AFE aumenta, portanto embora tenha sido realizado apenas uma única aplicação foliar, esta torna-se um diferencial em certos comportamentos da planta, como é o caso da AFE e TCC.

O tratamento irrigado apresentou maiores valores de condutância estomática, taxa fotossintética, taxa transpiratória, porém com menores valores da eficiência do uso da água, revelando portanto que esta última tem mais significado em situação de deficiência hídrica. Na época do emborrachamento, na cultura de sequeiro, a aplicação de silício somente como foliar diminuiu a condutância e a fotossíntese, mas não inferiu em diferenças significativas na transpiração e eficiência do uso da água; já quando o silício foi aplicado via solo e via foliar, a condutância e a transpiração diminuíram, a fotossíntese se manteve, aumentando assim a eficiência do uso da água; nesta época o silício foliar foi o responsável pelas alterações nas trocas gasosas. Após 10 dias e próximo ao florescimento a foliar ainda influenciava nas trocas gasosas, pois juntamente com a adição de silício ao solo a eficiência do uso da água aumentou devido ao aumento na fotossíntese. De maneira geral, a

aplicação foliar, juntamente com a adição do silício ao solo, possibilitou às plantas, em condições de sequeiro, um mecanismo mais sensível de movimento estomático, uma vez que os estômatos agiram no sentido de otimizar a relação A/E .

Como visto, as plantas quando se desenvolveram em condições de disponibilidade hídrica adequada, exploraram mais seu potencial genético de crescimento e apresentaram características que favoreceram maior produtividade. Devido às condições hídricas os estômatos permaneceram mais abertos, aumentando assim a assimilação de CO_2 , porém apresentaram maiores taxas de transpiração. Estas vantagens inferiram em maior produtividade de grãos. No entanto, quando o silício foliar não foi aplicado a produtividade de grãos das plantas irrigadas foi maior que as de sequeiro, e quando este foi adicionado o déficit hídrico não interferiu na produtividade de grãos.

A adição de silício na folha realizada apenas uma vez, possibilitou alterações importantes no crescimento do arroz, revelando tendência ao controle de doenças. Em termos nutricionais diminuiu os teores foliares de Fe e Mn, podendo assim diminuir suas respectivas fitotoxicidades, similarmente à aplicação via solo. Influenciou também a TCC e a AFE, sendo que estes efeitos da foliar foram maiores quando o Recmix foi aplicado juntamente no solo. As trocas gasosas revelaram o silício foliar como um meio de tornar as plantas mais produtivas, pois as diferenças ocorridas foram devido à adubação foliar, diminuindo a transpiração da planta através de menor abertura estomática e aumentando a eficiência de uso da água, quando em condições de sequeiro, devido ao mecanismo mais sensível do movimento estomático.

8 CONCLUSÕES

Em condições inadequadas de disponibilidade hídrica, o silício proporcionou às plantas de arroz uma menor transpiração devido à menor abertura estomática, aumentando conseqüentemente a eficiência de uso da água. O silício possibilitou também melhores características fisiológicas quanto à eficiência funcional dos órgãos fotossintéticos.

A adubação foliar de silício com 40 mM L^{-1} na época da diferenciação floral, realizada apenas uma vez neste período, foi responsável pelas diferenças nas trocas gasosas e pelas alterações em alguns índices fisiológicos, além de possibilitar controle de doenças e fitotoxicidades nutricionais; seu efeito foi maior juntamente com a adição de 900 kg ha^{-1} de Si na forma de Recmix. A adubação foliar de silício revelou ser uma prática agronômica capaz de tornar as plantas mais produtivas, sendo uma alternativa de adubação similar e com possibilidades de superar à aplicação via solo, caso venha a ser aplicado mais vezes no estágio fenológico da diferenciação floral do arroz.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

ABREU, C.A. et al. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. **Communication Soil Science Plant Analysis.**, v.25, p.3321-3333, 1994.

AGARIE, S.; AGATA, W.; KAUFMAN, P.B. Involvement of silicon in the senescence of rice leaves. **Plant Production Science**, Tokyo, v.1, n.2, p.104-105, 1998a.

AGARIE, S. et al. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, Tokyo, v.1, n.2, p.89-95, 1998b.

AGARIE, S. et al. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant Production Science**, Tokyo, v.1, n.2, p.96-103, 1998c.

AGRIANUAL 2003: Anu. Agric. Bras., São Paulo: FNP, 2003. 435 p.

* UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciência Agronômicas. **Normas para a elaboração de Dissertações e Teses**. Botucatu, 2002. 24p.

AGUIAR NETTO, A.B. **Crescimento e produtividade da cultura da batata (*Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*), cultivar Aracy, submetida a diferentes lâminas de irrigação.** 1997. 88f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

ALVAREZ, R.C.F. **Comparação de dois cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.), através da análise de crescimento.** 1999. 118f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H.; WARREN, J.D. Availability of phosphorus in calcium silicate slag. **Communication Soil Science Plant Analysis**, v.23, n.9/1º, p.907-918, 1992.

AZEVEDO, L.A.S.de; LEITE, O.M.C. **Manual de quantificação de doenças de plantas.** São Paulo: Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento, Ciba Agro, 1996.

BALDEÓN, J.R.M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos.** 1995. 88f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola.** Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247 p.

BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 120 p.

BARBOSA FILHO, M.P.; PRABHU, A.S. **Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz.** Santo Antônio de Goiás, 2002. 4 p. (Circular técnico, 51).

BARBOSA FILHO, M.P. et al. Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura). **Informações agronômicas**, n.89, 2000.

BARBOSA, D.S. et al. Comparação entre silicato e calcário na correção do pH e no fornecimento de silício em profundidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: 2003. 1 CD-ROM.

BARBOSA, S.C.S. et al. Adição de silício e fósforo nas características químicas de três solos dos tabuleiros costeiros de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: 2003. 1 CD-ROM.

BATAGLIA, O.C. et al. Métodos de análise química de plantas. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n.78, p.1-48, 1983.

BELLINGIERI, P.A. **Silício**: relação solo-planta. 1979. 22f. Monografia (Pós-Graduação em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1979.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 1986. 42 p.

BERNI, R.F., PRABHU, A.S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.195-201, 2003.

BOARO, C.S.F. **Influência da variação dos níveis de magnésio sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca), em cultivo hidropônico**. 1986. 163f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria Nacional Defesa Agropecuária, 1992. 365 p.

BRIGGS, G.E.; KIDD, F.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part.I. **Ann. Appl. Biol.**, v.7, p. 102-23, 1920a.

BRIGGS, G.E.; KIDD, F.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part.II. **Ann. Appl. Biol.**, v.7, p. 202-223, 1920b.

CALBO, A.G., SILVA, W.L.C., TORRES, A.T. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v.1, n.1, p.1-7, 1989.

CAMARGO, O.A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas..** Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94 p.

CAMARGO, M.S.de et al. Disponibilidade de silício em solos: efeito do pH, silício e extratores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. 1 CD-ROM.

CARVALHO, J. G. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício.** 2000. 119f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CHAGAS, R.C.S. et al. Rendimento e acúmulo de silício em arroz adubado com escória de siderurgia em dois tipos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. 1 CD-ROM.

CHENG, B.T. Some significant functions of silicon to higher plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.5, p. 1345-1353, 1982.

COMPÊNDIO de defensivos agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola. 5ed. Organização Andrei. 1996. 506 p.

CRUSCIOL, C.A.C. **Espaçamento e densidade de semeadura do arroz, cv. IAC 201, sob condições de sequeiro e irrigado por aspersão.** 1995. 104f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CRUSCIOL, C.A.C. **Efeitos de lâminas de água e da adubação mineral em dois cultivares de arroz-de-sequeiro sob irrigação por aspersão.** 1998. 129f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

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

DE DATTA, S.K. **Principles and practices of rice production.** New York: John Willey, 1981. 618 p.

DEREN, C.W. et al. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v.34, p.733-737, 1994.

DINIZ, J.A. et al. Comportamento de variedades de arroz, em terras altas, sob regime de irrigação por aspersão em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Experientiae**, Viçosa, Minas Gerais, v.22, p.235-262, 1976.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos.** Roma: FAO, 1976. 194 p. (Estudios FAO: Riego e drenaje, 24).

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

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.641-664, 1999.

FAGERIA, N.K. Deficiência hídrica em arroz de cerrado e resposta ao fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, n.3, p.259-265, 1980.

FARIA, R.J.de. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FAWE, A. et al. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, v.88, p.396-401, 1998.

FIRME, D.J. **Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia com fosfato natural**. 1986. 55f. Tese (“Magister Scientiae”/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221 p.

GIÚDICE, R.M. et al. Irrigação do arroz por aspersão: profundidade de rega e limites d’água disponível. **Experientiae**, Viçosa, Minas Gerais, v.18, p.103-123, 1974.

GOMES, F.P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 160 p.

GOMES, M.M.A. et al. Trocas gasosas e quantificação do ácido abscísico em duas cultivares de arroz de sequeiro submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.9, n.3, p.177-183, 1997.

GUIMARÃES, J.E.P. **O emprego de escórias de alto forno a coque na agricultura**. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico, Secretaria da Agricultura, 1960. p.2-14 (Notas prévias, n.3).

GUIMARÃES, E.P.; SANT'ANA, E.P. Sistemas de cultivo. In: In: VIEIRA, N. R.de A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. cap.1, p.17-36.

HIRASAWA, T. Water relations in plants. In: MATSUO, T. et. al. (Ed.) **Science of the of rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p.434-460. (Physiology, v.2).

HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV - Effects of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. **Soil Science Plant Nutrition**, v.34, n.1, p.65-73, 1988.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual review of plant physiology**, v.24, p.519-570, 1972.

HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edgard Arnold, 1982. 248 p.

INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant ? **Soil Science Plant Nutrition**, v.41, n.1, p.111-117, 1995.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315 p.

KORNDÖRFER, G.H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.23, p.101-106, 1999a.

KORNDÖRFER, G.H. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.23, p.635-641, 1999b.

KORNDÖRFER, G.H. et al. **Soil and plant silicon calibration for rice production**. Belle Glade: Rice Council Meeting, 1999c. (Manuscript).

KORNDÖRFER, G.H. et al. Cimento como fonte de silício para cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v.19, n.2, p.30-33, 2000a.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; LEONE, P.L.C. Termofosfato como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v.19, n.1, p.34-36, 2000b.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: Grupo de Pesquisa em Silício, 2002. 23 p. (Boletim técnico, 1).

KRUDEV, T.G. **Água vida das plantas**. São Paulo: Ícone, 1994. 178 p.

KVET, J. et al. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G. (Ed.). **Plant photosynthetic production: manual of methods**. The Hague: W. Junk, 1971. p.343-91.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, n.87, p.1-12, 1999. (Encarte técnico).

MA, J.; NISHIMURA, K.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. **Soil Science Plant Nutrition**, v.35, p.347-356, 1989.

MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M.A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, Campinas, v.53, n.2, p.141-149, 1994.

MACHADO, E.C. et al. Trocas gasosas e relações hídricas em dois cultivares de arroz de sequeiro submetidos à deficiência hídrica, em diferentes fases do crescimento reprodutivo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.8, n.2, p.139-147, 1996.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1979. p.331-350.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**.. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MATSUSHIMA, S. **Crop science in rice: theory of yield determination and its application**. Tokyo: Fuji, 1970. 379 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plants nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D. Foliar applications os potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.117, n.6, p.902-905, 1992.

MENZIES, J.G. et al. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Biology molecular and plant pathology**, v.39, p.403-414, 1999.

MILTHORPE, F.L.; MOORBY, J. **An introduction to crop physiology**. Cambridge: Cambridge University, 1974. 201 p.

McKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soils. **Adv. Agron.**, v.15, p.339-397, 1963.

MURATA, Y.; MATSUSHIMA, S. Rice. In: EVANS, L.T. **Crop physiology**: some case stories. London: Cambridge University Press, 1975. p.73-99.

OLIVEIRA, M.G.A. **Determinação, adsorção e deslocamento recíproco de silício e fósforo em latossolos do triângulo mineiro**. 1984. 68f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, C.de M.M.de. **Desenvolvimento e produtividade da cultura do arroz irrigado por aspersão sob diferentes umidades do solo e doses de nitrogênio**. 1995. 113f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. In: _____. **Evapotranspiração potencial**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. p.304.

PEDRAS, J.F.; RODRIGUES, J.D.; RODRIGUES, S.D. Absorção de íons via foliar. In: ROSOLEM, C.A., BOARETTO, A.E. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ADUBAÇÃO FOLIAR**, 2, 1987, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fundação de estudos e pesquisas agrícolas e florestais, 1987. cap.2, p.13-60.

PEREIRA, H.S. **Avaliação do xisto e escórias na nutrição e produção do tomate e em atributos químicos e biológicos do solo**. 1999. 89f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Análise quantitativa de crescimento de comunidades vegetais. **Boletim Técnico do Instituto Agrônômico**, Campinas, n.114, p. 1-33, 1987.

PEREIRA, H.S. et al. Efeito da aplicação de silício via solo e via foliar no controle de doenças. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. 1 CD-ROM.

PIAU, W.C. **Viabilidade do uso de escórias como corretivo e fertilizante**. 1991. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PIAU, W.C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (Zea mays L.)**. 1995. 124f. Tese (Doutorado em Ciências/Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PINHEIRO, B. da S. Características morfo-fisiológicas da planta relacionadas à produtividade. In: VIEIRA, N. R.de A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. cap.5, p.116-147.

PINHEIRO, B. da S.; GUIMARÃES, E.P. Índice de área foliar e produtividade do arroz de sequeiro. 1. Níveis limitantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.6, p.863-872, 1990.

PINHEIRO, B. da S.; MARTINS, J.F.da S.; ZIMMERMANN, F.J.P. Índice de área foliar e produtividade do arroz de sequeiro. 2. Manifestação através dos componentes da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.6, p.873-879, 1990.

PORTES, T.A; CASTRO JÚNIOR, L. G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.3, n.1, p.53-56, 1991.

PORTES, T.A. et al. Análise de crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1349-1358, 2000.

PRABHU, A.S.; FILIPPI, M.C.; RIBEIRO, A.S. Doenças e seu controle. In: VIEIRA, N. R.de A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.262-307.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil**: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001. 67 p.

QUEIROZ, A.A. et al. Adubação com silício: influência sobre as principais doenças e produtividade do arroz irrigado por inundação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. 1 CD-ROM.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae-their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v.7, n.3, p.171-175, 1967.

RAIJ, B.V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto da Potassa, 1981. 142 p.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 81, p.1-31, 1983.

RAIJ, B.V. et al (Eds). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAMOS, L.A. et al. Corretivos e condicionadores do solo através de colunas de lixiviação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. 1 CD-ROM.

REICHARDT, K. Relações solo-água-planta para algumas culturas. In: _____. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. p.157-171.

RODRIGUES, S.D. **Análise de crescimento de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetidas a carências nutricionais**. 1982. 180f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

RODRIGUES, J.D. **Influência de diferentes níveis de cálcio, sobre o desenvolvimento de plantas de estilosantes (*Stylosanthes guyanensis* (Aubl.) Swartz cv. COOK), em cultivo hidropônico**. 1990. 180f. Tese (Livre Docência em Fisiologia Vegetal) – Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

RODRIGUES, R.A.F. **Efeitos do manejo de água nas características fenológicas e produtivas do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em condições de sequeiro sob irrigação por aspersão**. 1998. 75f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SALISBURY, F. B. Système internationale: the use of SI units in plant physiology. **Journal Plant Physiology**., v.139, p.1-7, 1991.

SANTOS, A.B.; COSTA, J.D. Crescimento de arroz de sequeiro em diferentes populações e irrigação suplementar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.6, p.591-599, 1997.

SASSAKI, R.M.; MACHADO, E.C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1571-1579, 1999.

SAVANT, N.K.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Depletion of plant-available silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communication Soil Science Plant Analysis**, v.28, n.13/14, p. 1245-1252, 1997a.

SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances Agronomy**, v.58, p. 151-199, 1997b.

SESTÁK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In: **Plant photosynthetic production: manual of methods**. The Hague: Dr.W. Junk N.V., 1971. p.343-391.

SMYTH, T.J.; SANCHEZ, A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to na oxisol on phosphorus sorption and iron retention. **Soil Science Society American Journal**, v.44, p.500-505, 1980.

SOUZA, E.C.A.; YASUDA, M. Silício: relação solo:planta. In: _____. **Uso agronômico do termofosfato no Brasil**. São Paulo: Fertilizantes Mitsui ,1994. p.18-21.

STEINMETZ, S.; MEIRELES, E.J.L. Clima. In: VIEIRA, N. R.de A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. cap.3, p.58-87.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Irrigação do arroz por aspersão. **Informações Agropecuárias**, v.14, n.161, p.76-78, 1989.

STONE, L.F. et al. Efeitos da supressão de água em diferentes fases docrescimento na produção do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, p.105-109, 1979.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: _____. **Science of the rice plant : physiology**. Tokio: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. v.2, p.420-433.

WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advancea Agronomy**, v.4, p.101-144, 1952.

WILSON, J.W.; HUNT, R.; HAND, D.W. Philosophical aspects of measurements, equations and inferences in plant growth studies. **Ann. Bot.**, London, v.58, p.73-80, 1986.

YOKOYAMA, L.P.; RUCATTI, E.G.; KLUTHCOUSKI, J. Economia da produção: conjuntura, mercados e custos. In: VIEIRA, N. R.de A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. cap.2, p.36-57.

YOSHIDA, S. Climatic environment and its influence. In: _____. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, 1981. cap.2, p.65-110.

YOSHIDA, S.; PARAO, F.T. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Climate and rice**. Los Baños, 1976. p.471-491.

APÊNDICE

Tabela 1 – Dados climáticos – período de janeiro a fevereiro de 2003. Botucatu – SP.

Dias	JANEIRO				FEVEREIRO			
	Precipitação (mm)	U.R. (%)	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)	U.R. (%)	Temperatura (°C)	
			Máx.	Min.			Máx.	Min.
1	0,7	60	32,6	21,8		79	29,4	18,8
2		59	30,2	22,0		67	32,4	21,4
3	15,0	64	28,4	20,6		65	31,2	21,0
4	6,0	80	26,6	19,6		65	30,4	19,4
5	42,0	87	24,0	20,4		65	31,8	18,4
6		78	29,0	20,4		66	29,2	19,4
7		47	30,4	19,2		65	30,6	20,8
8		52	30,8	20,4		68	31,4	22,0
9		60	30,4	19,8		73	32,2	22,6
10	1,2	62	32,0	23,6		66	32,6	22,0
11	9,0	64	31,2	19,4		62	31,6	20,2
12	26,0	74	26,4	19,8		60	32,0	20,0
13	22,5	91	21,6	18,0	6,5	62	30,0	19,8
14		84	25,4	18,4	23,3	68	22,2	18,8
15	8,5	76	28,4	18,0	1,5	68	22,2	18,0
16	42,0	79	29,2	19,6	11,5	69	27,0	19,0
17	6,5	79	30,4	17,4	11,3	85	23,8	19,8
18	41,2	76	27,2	19,6	7,5	88	26,8	20,2
19		72	29,8	19,4		80	29,6	18,4
20		76	29,2	20,6	6,0	76	29,4	21,4
21	10,5	74	27,8	21,4	60,0	72	29,4	20,4
22	7,7	75	25,0	19,8		71	30,0	18,4
23	11,7	81	24,4	20,4		70	31,2	20,8
24	42,2	85	26,8	19,8		67	32,2	20,0
25	5,2	84	20,6	16,8		63	32,2	21,0
26	4,7	84	23,8	18,8	***	63	32,6	22,2
27	40,0	92	23,4	18,8		56	32,6	22,0
28	27,0	94	23,0	17,6		59	34,0	21,6
29	8,7	87	25,4	18,2				
30	14,2	82	24,6	17,6				
31	19,5	79	25,8	19,2				
TOTAL (mm)								
Precipitação	412,0				127,6			
Irrigado	0				7,1			

*** Irrigação efetuada

Tabela 2 – Dados climáticos – período de março a abril de 2003. Botucatu – SP.

Dias	MARÇO				ABRIL			
	Precipitação (mm)	U.R. (%)	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)	U.R. (%)	Temperatura (°C)	
			Máx.	Min.			Máx.	Min.
1		53	33,2	21,8	***	61	29,0	19,6
2		62	30,6	20,4		58	29,0	17,0
3		66	31,8	21,8	***	66	28,0	17,6
4	***	67	31,6	19,0	14,0	74	20,6	18,0
5		72	30,0	20,4		74	25,0	16,8
6	30,0	73	31,8	19,4	18,0	76	24,6	19,0
7	3,7	79	29,0	20,8		74	24,6	16,0
8	91,0	84	25,2	19,0	***	67	25,4	14,4
9	0,5	83	26,0	19,0	0,7	70	26,6	16,4
10	12,0	89	24,0	20,0	***	71	23,6	18,8
11	19,2	90	25,4	19,2		66	26,4	18,2
12	0,7	80	27,2	20,4		53	25,0	12,4
13		78	27,0	20,2	***	63	22,4	10,4
14		71	30,0	18,0		63	25,6	13,4
15		71	30,6	19,8	***	64	25,4	15,2
16		75	29,6	20,0		62	26,6	16,4
17	***	78	26,2	19,9	***	57	27,8	15,6
18		72	26,8	17,0	6,2	61	28,8	16,4
19		74	28,8	17,2	45,8	62	27,8	19,8
20	*** 11,5	74	30,4	18,0	0,3	62	22,4	16,6
21		80	26,8	19,8		78	23,8	17,4
22		78	24,4	16,6		76	28,4	18,6
23		75	26,2	15,2	***	69	28,2	18,8
24		77	25,2	16,2		66	28,4	17,4
25	***	78	26,2	16,0		66	29,0	17,4
26	1,7	79	24,4	17,2	***	64	29,7	17,6
27	9,0	81	27,0	17,2		61	29,4	19,2
28		77	25,6	16,8		62	29,8	17,6
29		73	27,4	16,6	***	61	29,8	18,2
30	***	67	29,0	16,8		58	29,8	19,8
31		62	30,0	18,8				
TOTAL (mm)								
Precipitação	179,3				85,0			
Irrigado	35,5				71,0			

*** Irrigação efetuada

Tabela 3 – Dados climáticos – período de maio a junho de 2003. Botucatu – SP.

Dias	MAIO				JUNHO			
	Precipitação (mm)	U.R. (%)	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)	U.R. (%)	Temperatura (°C)	
			Máx.	Min.			Máx.	Min.
1	3,5	61	29,4	19,4		54	26,0	15,0
2	25,7	70	21,0	18,0		55	26,2	13,8
3		66	20,2	11,6	8,0	61	25,6	18,0
4	3,5	69	22,2	11,0	5,0	81	23,2	15,6
5	2,7	85	17,4	15,2	9,0	74	20,0	14,2
6		76	21,8	15,0		72	26,4	16,2
7		62	20,4	9,6		68	26,6	17,2
8		59	21,8	8,2	1,7	73	23,8	16,0
9		66	21,4	11,4		76	25,0	14,2
10		68	21,6	11,0		72	25,8	15,8
11		66	22,4	13,4		62	26,0	16,8
12		64	23,6	13,6		62	26,2	17,4
13		62	23,8	14,6		62	27,0	15,4
14		59	24,4	15,0		66	25,0	15,4
15		57	26,8	15,6		72	26,0	14,4
16		58	26,6	16,2		66	25,6	15,0
17		60	26,6	14,4		59	26,2	14,8
18		60	25,6	15,2		59	25,6	16,0
19		61	24,4	14,6		56	26,0	13,2
20		60	25,8	14,6		58	23,0	15,0
21		58	27,0	17,2		54	24,0	13,0
22		57	27,8	17,0		52	23,4	13,2
23	17,5	66	23,8	18,6		50	25,0	13,0
24		58	20,4	12,2		54	25,2	13,8
25		57	20,8	9,8		55	25,0	15,0
26		56	21,6	9,6		56	24,4	13,2
27		53	20,4	9,2		57	24,8	12,6
28		50	22,6	7,6		53	25,8	12,2
29		55	22,6	11,4		55	25,6	15,0
30		55	23,4	13,2		58	21,4	11,0
31		54	25,6	13,4				
TOTAL (mm)								
Precipitação	52,9				23,7			
Irrigado	0				0			
QUANTIDADE TOTAL DE ÁGUA APLICADA NO TRATAMENTO IRRIGADO = 113,6mm								

*** Irrigação efetuada

Tabela 4 – Balanço hídrico do mês de Janeiro de 2003.

Data	ECA mm dia ⁻¹	Vento km dia ⁻¹	UR %	Kp tabela ⁽¹⁾	Eto mm dia ⁻¹	Etm mm dia ⁻¹	CAD mm	Chuva mm	Irrigação
							15,850		
01-Jan	7,5	100,0	60	0,80	6,000	2,400	14,150	0,7	
02-Jan	6,1	106,6	59	0,80	4,880	1,952	12,198	0	
03-Jan	5,1	78,6	64	0,80	4,080	1,632	15,850	15,0	
04-Jan	2,4	195,8	80	0,80	1,920	0,768	15,850	6,0	
05-Jan	***	120,6	87	0,85	***	***	15,850	42,0	
06-Jan	7,5	134,9	78	0,85	6,375	2,550	13,300	0	
07-Jan	9,6	107,1	47	0,80	7,680	3,072	10,228	0	
08-Jan	9,0	95,8	52	0,80	7,200	2,880	(7,348)	0	
09-Jan	7,4	130,2	60	0,80	5,920	2,368	(4,980)	0	
10-Jan	7,4	178,0	62	0,75	5,550	2,220	(3,960)	1,2	
11-Jan	7,7	144,6	64	0,80	6,160	2,464	10,496	9,0	
12-Jan	4,1	113,3	74	0,85	3,485	1,394	15,850	26,0	
13-Jan	0,0	79,8	91	0,85	0,000	0,000	15,850	22,5	
14-Jan	5,2	174,2	84	0,85	4,420	1,768	14,082	0	
15-Jan	6,3	138,2	76	0,85	5,355	2,142	15,850	8,5	
16-Jan	***	94,6	79	0,85	***	***	15,850	42,0	
17-Jan	5,9	110,7	79	0,85	5,015	2,006	15,850	6,5	
18-Jan	***	132,8	76	0,85	***	***	15,850	41,2	
19-Jan	6,2	69,4	72	0,85	5,270	2,108	13,742	0	
20-Jan	5,4	127,7	76	0,85	4,590	1,836	11,906	0	
21-Jan	3,8	118,7	74	0,85	3,230	1,292	15,850	10,5	
22-Jan	1,3	112,3	75	0,85	1,105	0,442	15,850	7,7	
23-Jan	1,6	183,1	81	0,80	1,280	0,512	15,850	11,7	
24-Jan	***	123,5	85	0,85	***	***	15,850	42,2	
25-Jan	0,0	183,0	84	0,80	0,000	0,000	15,850	5,2	
26-Jan	0,8	61,5	84	0,85	0,680	0,272	15,850	4,7	
27-Jan	***	146,5	92	0,85	***	***	15,850	40,0	
28-Jan	0,5	104,5	94	0,85	0,425	0,170	15,850	27,0	
29-Jan	***	145,7	87	0,85	***	***	15,850	8,7	
30-Jan	1,9	96,0	82	0,85	1,615	0,646	15,850	14,2	
31-Jan	6,7	95,8	79	0,85	5,695	2,278	15,850	19,5	

(1) Ometto (1981)

*** - tanque transbordou

CAD ≤ a (8,7175) = irrigação até completar 15,850 mm

Tabela 5 – Balanço hídrico do mês de Fevereiro de 2003.

Data	ECA mm dia ⁻¹	Vento km dia ⁻¹	UR %	Kp tabela ⁽¹⁾	Eto mm dia ⁻¹	Etm mm dia ⁻¹	CAD mm	Chuva mm	Irrigação
01-Fev	6,1	108,4	79	0,85	5,185	2,074	13,776	0	
02-Fev	8,5	90,0	67	0,80	6,800	2,720	11,056	0	
03-Fev	8,4	123,5	65	0,80	6,720	2,688	(8,368)	0	
04-Fev	8,2	111,4	65	0,80	6,560	2,624	(5,744)	0	
05-Fev	8,1	89,3	65	0,80	6,480	2,592	(3,152)	0	
06-Fev	5,5	40,5	66	0,80	4,400	1,760	(1,392)	0	
07-Fev	6,6	79,4	65	0,80	5,280	2,112	(-0,720)	0	
08-Fev	7,6	88,2	68	0,80	6,080	2,432	(-3,152)	0	
09-Fev	6,8	63,2	73	0,85	5,780	2,312	(-5,464)	0	
10-Fev	9,0	117,4	66	0,80	7,200	2,880	(-8,344)	0	
11-Fev	8,0	122,6	62	0,80	6,400	2,560	(-10,904)	0	
12-Fev	7,4	77,9	60	0,80	5,920	2,368	(-13,272)	0	
13-Fev	7,8	109,8	62	0,80	6,240	2,496	(-9,268)	6,5	
14-Fev	1,6	63,2	68	0,80	1,280	0,512	13,520	23,3	
15-Fev	0,3	52,4	68	0,80	0,240	0,096	14,924	1,5	
16-Fev	5,4	144,9	69	0,80	4,320	1,728	15,850	11,5	
17-Fev	1,2	150,5	85	0,85	1,020	0,408	15,850	11,3	
18-Fev	2,0	126,1	88	0,85	1,700	0,680	15,850	7,5	
19-Fev	9,8	78,1	80	0,85	8,330	3,332	12,518	0	
20-Fev	4,7	89,1	76	0,85	3,995	1,598	15,850	6,0	
21-Fev	***	72,8	72	0,85	***	***	15,850	60,0	
22-Fev	6,1	153,7	71	0,85	5,185	2,074	13,776	0	
23-Fev	4,0	108,7	70	0,80	3,200	1,280	12,496	0	
24-Fev	9,2	57,2	67	0,80	7,360	2,944	9,552	0	
25-Fev	10,1	56,3	63	0,80	8,080	3,232	(6,320)	0	
26-Fev							15,850		Irrig. 1
26-Fev	6,8	81,6	63	0,80	5,440	2,176	13,674	0	
27-Fev	7,4	75,7	56	0,80	5,920	2,368	11,306	0	
28-Fev	9,1	96,9	59	0,80	7,280	2,912	(8,394)	0	

(1) Ometto (1981)

*** - tanque transbordou

CAD ≤ a (8,7175) = irrigação até completar 15,850 mm

Tabela 6 - Balanço hídrico do mês de Março de 2003.

Data	ECA mm dia ⁻¹	Vento km dia ⁻¹	UR %	Kp tabela ⁽¹⁾	Eto mm dia ⁻¹	Etm mm dia ⁻¹	CAD mm	Chuva mm	Irrigação
01-Mar	7,4	76,9	53	0,80	5,920	2,368	(6,026)	0	
02-Mar	8,9	138,3	62	0,80	7,120	2,848	(3,178)	0	
03-Mar	7,7	95,0	66	0,80	6,160	2,464	(0,714)	0	
04-Mar							(7,847)		Irrig. 2
04-Mar	7,2	103,1	67	0,80	5,760	2,304	(5,543)	0	
05-Mar	2,3	71,5	72	0,85	1,955	0,782	(4,761)	0	
06-Mar	9,7	69,4	73	0,85	8,245	3,298	15,850	30,0	
07-Mar	4,4	65,1	79	0,85	3,740	1,496	15,850	3,7	
08-Mar	***	71,2	84	0,85	***	***	15,850	91,0	
09-Mar	1,9	86,7	83	0,85	1,615	0,646	15,704	0,5	
10-Mar	1,5	69,9	89	0,85	1,275	0,510	15,850	12,0	
11-Mar	***	167,4	90	0,85	***	***	15,850	19,2	
12-Mar	2,8	167,4	80	0,85	2,380	0,952	15,598	0,7	
13-Mar	4,6	109,4	78	0,85	3,910	1,564	14,034	0	
14-Mar	7,7	96,5	71	0,85	6,545	2,618	11,416	0	
15-Mar	6,6	97,2	71	0,85	5,627	2,251	9,165	0	
16-Mar	5,2	147,1	75	0,85	4,420	3,094	(6,071)	0	
17-Mar							15,850		Irrig. 3
17-Mar	4,8	225,8	78	0,80	3,840	2,688	13,162	0	
18-Mar	6,2	105,7	72	0,85	5,270	3,689	9,473	0	
19-Mar	2,7	66,1	74	0,85	2,295	1,607	(7,867)	0	
20-Mar							15,850		Irrig. 4
20-Mar	8,1	76,8	74	0,85	6,885	4,820	15,850	11,5	
21-Mar	4,3	161,5	80	0,85	3,655	2,559	13,292	0	
22-Mar	5,7	198,5	78	0,80	4,528	3,170	10,122	0	
23-Mar	3,7	201,4	75	0,80	2,960	2,072	(8,050)	0	
24-Mar	3,5	180,0	77	0,80	2,800	1,960	(6,090)	0	
25-Mar							15,850		Irrig. 5
25-Mar	4,3	192,1	78	0,80	3,440	2,408	13,442	0	
26-Mar	6,4	81,5	79	0,85	5,440	3,808	11,334	1,7	
27-Mar	4,1	122,5	81	0,85	3,485	3,485	15,850	9,0	
28-Mar	5,2	155,8	77	0,85	4,403	4,403	11,447	0	
29-Mar	6,1	95,1	73	0,85	5,202	5,202	(6,245)	0	
30-Mar							15,850		Irrig. 6
30-Mar	6,7	62,9	67	0,80	5,328	5,328	10,522	0	
31-Mar	4,9	80,2	62	0,80	3,952	3,952	(6,570)	0	

(1) Ometto (1981)

*** - tanque transbordou

CAD ≤ a (8,7175) = irrigação até completar 15,850 mm

Tabela 7 - Balanço hídrico do mês de Abril de 2003.

Data	ECA mm dia ⁻¹	Vento km dia ⁻¹	UR %	Kp tabela ⁽¹⁾	Eto mm dia ⁻¹	Etm mm dia ⁻¹	CAD mm	Chuva mm	Irrigação
01-Abr							15,850		Irrig. 7
01-Abr	7,6	132,3	61	0,80	6,080	6,080	9,050	0	
02-Abr	6,0	113,2	58	0,80	4,800	4,800	(3,530)	0	
03-Abr							15,850		Irrig. 8
03-Abr	6,2	128,7	66	0,80	4,960	4,960	11,090	0,2	
04-Abr	0,2	35,7	74	0,85	0,204	0,265	15,850	14,0	
05-Abr	3,2	47,5	74	0,85	2,754	3,580	12,270	0	
06-Abr	3,8	91,6	76	0,85	3,230	4,199	15,850	18,0	
07-Abr	4,2	114,6	74	0,85	3,553	4,619	11,231	0	
08-Abr	5,6	100,3	67	0,80	4,480	5,824	(5,407)	0	
08-Abr							11,657		Irrig. 9
09-Abr	4,3	50,5	70	0,80	3,440	4,472	(7,885)	0,7	
10-Abr	1,6	55,1	71	0,85	1,360	1,768	(8,317)	2,2	
10-Abr							14,567		Irrig. 10
11-Abr	5,6	152,5	66	0,80	4,512	5,866	(8,702)	0	
12-Abr	6,2	121,9	53	0,80	4,976	4,976	(3,726)	0	
13-Abr							15,850		Irrig. 11
13-Abr	6,2	238,4	63	0,75	4,620	4,620	15,850	0	
14-Abr	5,3	156,7	63	0,80	4,240	4,240	11,610	0	
15-Abr	4,5	93,4	64	0,80	3,600	3,600	8,010	0	
15-Abr							14,260		Irrig. 12
16-Abr	4,5	110,8	62	0,80	3,600	3,600	10,660	0	
17-Abr	5,3	67,5	57	0,80	4,240	4,240	(6,420)	0	
17-Abr							15,850		Irrig. 13
18-Abr	5,5	95,5	61	0,80	4,400	4,400	15,850	6,2	
19-Abr	9,0	91,6	62	0,80	7,200	7,200	15,850	45,8	
20-Abr	2,3	81,4	62	0,80	1,840	1,288	14,862	0,3	
21-Abr	2,2	104,8	78	0,85	1,870	1,309	13,553	0	
22-Abr	5,7	142,4	76	0,85	4,845	3,392	10,162	0,0	
23-Abr	5,2	103,3	69	0,80	4,160	2,912	(7,250)	0,0	
23-Abr							15,850		Irrig. 14
24-Abr	5,9	43,6	66	0,80	4,720	3,304	12,546	0,0	
25-Abr	5,0	65,2	66	0,80	4,000	2,800	9,746	0,0	
26-Abr	5,0	63,4	64	0,80	4,000	2,800	(6,946)	0,0	
26-Abr							15,850		Irrig. 15
27-Abr	5,8	56,3	61	0,80	4,640	3,248	12,602	0,0	
28-Abr	5,1	48,7	62	0,80	4,080	2,856	9,746	0,0	
29-Abr	3,9	47,3	61	0,80	3,120	2,184	(7,562)	0,0	
29-Abr							15,850		Irrig. 16
30-Abr	5,8	76,2	58	0,80	4,656	3,2592	12,591	0,0	

(1) Ometto (1981)

CAD ≤ a (8,7175) = irrigação até completar 15,850 mm

Tabela 8 - Balanço hídrico do mês de Maio de 2003.

Data	ECA mm dia ⁻¹	Vento km dia ⁻¹	UR %	Kp tabela ⁽¹⁾	Eto mm dia ⁻¹	Etm mm dia ⁻¹	CAD mm	Chuva mm	Irrigação
01-Maio	6,7	99,1	61	0,80	5,360	3,752	12,339	3,5	
02-Maio	***	118,8	70	0,80	***	***	15,850	25,7	
03-Maio	4,9	202,7	66	0,75	3,690	2,583	13,267	0	
04-Maio	4,5	144,5	69	0,80	3,600	2,520	14,247	3,5	
05-Maio	0,0	15,2	85	0,85	0,000	0,000	15,850	2,7	
06-Maio	5,1	182,1	76	0,80	4,080	2,856	12,994	0	
07-Maio	TÉRMINO DA IRRIGAÇÃO – MATURAÇÃO PARA A COLHEITA DE GRÃOS.								
08-Maio									
09-Maio									
10-Maio									
11-Maio									
12-Maio									
13-Maio									
14-Maio									
15-Maio									
16-Maio									
17-Maio									
18-Maio									
19-Maio									
20-Maio									
21-Maio									
22-Maio	COLHEITA DE GRÃOS DAS PARCELAS DO TRATAMENTO IRRIGADO								
23-Maio									
24-Maio									
25-Maio									
26-Maio									
27-Maio	TOTAL TEÓRICO DE ÁGUA APLICADA NA IRRIGAÇÃO = 113,6 mm								
28-Maio									
29-Maio	TOTAL REAL DE ÁGUA APLICADA NA IRRIGAÇÃO = 141,5 mm								
30-Maio									

(1) Ometto (1981)

*** - tanque transbordou

CAD ≤ a (8,7175) = irrigação até completar 15,850 mm