

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

**PRODUÇÃO DO ARROZ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM SILÍCIO
E NITROGÊNIO NO SISTEMA DE SEQUEIRO E IRRIGADO POR
ASPERSÃO**

ANGELA CRISTINA CAMARIM ALVAREZ

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU-SP
Janeiro – 2004

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

**PRODUÇÃO DO ARROZ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM SILÍCIO
E NITROGÊNIO NO SISTEMA DE SEQUEIRO E IRRIGADO POR
ASPERSÃO**

ANGELA CRISTINA CAMARIM ALVAREZ

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol
Co – Orientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU-SP
Janeiro – 2004

DEDICO

Aos meus pais

João Camarim Alvarez e

Rita Félix Alvarez

A minha irmã

Rita de Cássia Félix Alvarez

Pelas valiosas lições de vida embutidas na simplicidade, honestidade e respeito;
pela compreensão, amor e carinho durante esses anos de minha vida...

...estímulos que me fizeram sempre forte.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida. Peço serenidade para aceitar as coisas que não posso mudar, coragem para mudar aquelas que posso e sabedoria para distinguir uma das outras.

A meus pais, por todo carinho e amor incondicional.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pela orientação, ensinamentos, motivação e amizade.

Ao Prof. Dr. Orivaldo Arf, pela co-orientação, amizade, incentivo e especialmente pelo grande empenho pessoal na condução do experimento.

Ao Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer, da Universidade Federal de Uberlândia e ao Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes, da Faculdade de Ciências Agronômicas, pelas sugestões.

À COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES) pela bolsa concedida durante o decorrer do curso.

Ao Eduardo Lombard Artigiani pelo companheirismo, dedicação, amizade e apoio durante todo o tempo.

Ao amigo Júlio César dos Reis Pereira, pela ajuda na condução deste trabalho em campo e principalmente pela amizade e apoio.

Aos técnicos agrícolas Dilene Vrech de Souza, Fabio José Costa e Elton Castro de Aguiar pelo auxílio na condução do experimento e amizade.

A Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP) por permitir o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa e aos funcionários da Fazenda de Ensino e

Pesquisa, pela ajuda e disposição.

A seção de Pós Graduação, nas pessoas de Marilena C. Santos, Marlene R. Freitas e Jaqueline M. Gonçalves.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Setor Agricultura, em especial a Dorival Pires de Arruda pelo auxílio na realização das análises laboratoriais.

A todos os funcionários da biblioteca ‘Paulo de Carvalho Mattos’, em especial a Maria Aparecida M. Alho, Denise N. Anis, Nilson e Ermete Nibi Neto (‘Bigode’).

A todos aqueles que de uma maneira ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Importância da água na cultura do arroz.....	7
4.2 Adubação nitrogenada na cultura do arroz.....	10
4.3 Importância do silício para a cultura do arroz.....	12
4.3.1 Silício no solo.....	14
4.3.2 Silício na planta.....	15
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 Localização do experimento e características do local.....	18
5.2 Delineamento experimental.....	18
5.3 Características do cultivar.....	19
5.4 Instalação e condução do experimento.....	19
5.5 Características de importância agrônômica.....	23
5.5.1 Altura da planta (cm).....	23
5.5.2 Acamamento.....	23
5.5.3 Componentes vegetativos.....	23
5.5.3.1 Número de colmos m ⁻²	23

	Página
5.5.3.2 Fertilidade dos colmos.....	23
5.5.3.3 Número de espiguetas granadas e chochas por panícula.....	24
5.5.4 Componentes da produção.....	24
5.5.4.1 Número de panículas m ⁻²	24
5.5.4.2 Número total de espiguetas por panículas.....	24
5.5.4.3 Fertilidade das espiguetas.....	24
5.5.4.4 Massa de 100 grãos.....	24
5.5.5 Produtividade de grãos.....	24
5.5.6 Rendimento de engenho.....	24
5.5.7 Teor de nitrogênio na folha bandeira.....	25
5.5.8 Análise do teor de silício no solo.....	25
5.5.9 Análise do teor de silício no tecido vegetal.....	25
5.6 Análise estatística.....	25
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
6.1 Teores de silício e de nitrogênio.....	27
6.2 Características de importância agronômica.....	37
7 CONCLUSÕES.....	59
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Características químicas do solo, antes da instalação do experimento, na camada de 0-20 cm.....	19
2	Características químicas do solo coletado na entrelinha, após colheita do arroz, na camada de 0-20 cm.....	19
3	Características químicas do solo coletado na linha de semeadura, após colheita do arroz, na camada de 0-20 cm.....	19
4	Composição química do silicato de cálcio e magnésio.....	20
5	Coeficientes da cultura (kc) distribuídos em períodos compreendidos entre a emergência e a colheita.....	22
6	Análise de variância do experimento.....	26
7	Valores médios ¹ do teor de silício no solo, na folha bandeira e na planta e teor de nitrogênio na folha bandeira obtidos em arroz, cultivado no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão, com e sem aplicação de silício.....	27
8	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao teor de silício no solo coletado na linha de semeadura (mg dm ⁻³).....	29
9	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao teor de silício na folha bandeira (g kg ⁻¹).....	31

Tabela		Página
10	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao teor de nitrogênio na folha bandeira (g kg ⁻¹).....	35
11	Valores médios ¹ de altura da planta, número de colmos m ⁻² , fertilidade dos colmos e número de panículas m ⁻² obtidos em arroz, cultivado no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão, com e sem aplicação de silício.....	37
12	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao número de colmos por metro quadrado.....	39
13	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente à fertilidade de colmos (%)......	41
14	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao número de panículas por metro quadrado....	42
15	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao número total de espiguetas.....	44
16	Valores médios de número total de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas, número de espiguetas granadas e chochas por panícula obtidos em arroz, cultivado no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão, com e sem aplicação de silício.....	47
17	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao número de espiguetas granadas por panícula.....	48
18	Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente à massa de 100 grãos (g).....	51

Tabela		Página
19	Valores médios de massa de 100 grãos, produtividade de grãos e rendimento de engenho obtidos em arroz, cultivado no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão, com e sem aplicação de silício.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Precipitação pluvial (mm/dia), temperatura máxima e mínima (°C), obtidas na área experimental, durante o período de novembro de 2002 a fevereiro de 2003. Selvíria – MS.....	21
2	Teor de silício no solo (na linha e na entrelinha), em função da aplicação de doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	28
3	Teor de silício no solo, na linha de semeadura, em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	29
4	Teor de silício no solo, na linha de semeadura, em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	30
5	Teor de silício no solo, na entrelinha, em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	30
6	Teor de silício na folha bandeira e na planta em função da aplicação de doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	32
7	Teor de silício na folha bandeira em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	33
8	Teor de silício na planta em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	33

Figura		Página
9	Teor de silício na folha bandeira em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	34
10	Teor de silício na planta em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	34
11	Teor de nitrogênio na folha bandeira em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	36
12	Teor de nitrogênio na folha bandeira em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	36
13	Altura da planta em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	38
14	Altura da planta em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	38
15	Número de colmos m^{-2} em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	40
16	Número de colmos m^{-2} em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	40
17	Número de panículas m^{-2} em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	42

Figura		Página
18	Número de panículas m ⁻² em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	43
19	Número total de espiguetas por panícula em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	44
20	Número total de espiguetas por panícula em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	45
21	Fertilidade das espiguetas em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	46
22	Fertilidade das espiguetas em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	47
23	Número de espiguetas granadas por panícula em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	48
24	Número de espiguetas granadas por panícula em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	49
25	Número de espiguetas chochas por panícula em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	50
26	Número de espiguetas chochas por panícula em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	50

Figura		Página
27	Massa de 100 grãos em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	52
28	Massa de 100 grãos em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	53
29	Produtividade em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	54
30	Produtividade em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	55
31	Rendimento de engenho em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	55
32	Rendimento de inteiros em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	56
33	Rendimento de inteiros em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	57
34	Grãos quebrados em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	58
35	Grãos quebrados em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.....	58

1 RESUMO

O silício apresenta grande potencial na agricultura, revelando-se promissor e eficaz do ponto de vista técnico, pelo fato de aumentar a resistência da parede celular, e dessa forma, diminuir a perda de água por transpiração, aumentar a tolerância a pragas e doenças e resistência ao acamamento, produzindo plantas mais eretas, resultando na melhoria da eficiência fotossintética, o que pode refletir em aumento da produtividade. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos promovidos pela aplicação de silício e diferentes doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60, 90 kg de N ha⁻¹) nos componentes da produção e produtividade da cultura do arroz, em condições de sequeiro e de irrigação por aspersão. Assim, experimento foi desenvolvido no ano agrícola de 2002/03, num LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Foram avaliados os seguintes parâmetros: teor de nitrogênio e silício na folha bandeira no florescimento, teor de silício na planta no final do ciclo, quantidade de silício no solo, altura da planta (cm), acamamento, número de panículas e colmos por metro quadrado, número total de espiguetas por panícula, número de espiguetas granadas e chochas por panícula, peso de 100 grãos, fertilidade dos colmos e das espiguetas, produtividade e rendimento de engenho. Os componentes da produção e a produtividade de grãos não foram influenciados pela aplicação de silício no sulco de semeadura. A irrigação por aspersão aumentou a altura da planta, o número de espiguetas granadas por panícula e a produtividade de grãos. A adubação nitrogenada em cobertura aumentou o número de panículas m⁻² e o número de espiguetas por

panícula, no entanto, reduziu a fertilidade das espiguetas e a massa de 100 grãos. Em razão da maior disponibilidade hídrica proporcionada pelo sistema de cultivo irrigado por aspersão, a produtividade de grãos aumentou linearmente com a adubação nitrogenada, enquanto no cultivo de sequeiro houve resposta até 37 kg de N ha⁻¹.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., nitrogênio, silicato, sistemas de cultivo.

RICE CROP YIELD IN FUNCTION OF SILICON AND NITROGEN APPLICATION ON UPLAND AND SPRINKLER IRRIGATION. Botucatu, 2004. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANGELA CRISTINA CAMARIM ALVAREZ

Adviser: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Co-advisor: PROF. DR. ORIVALDO ARF

2 SUMMARY

Silicon presents great agricultural potential, revealing promise and efficacy from a technical standpoint by virtue of increased cell-wall resistance, thus diminishing transpiration water loss, enhancing pests and diseases tolerance and also resistance to lodging, consequently producing more erect plants that attain improved photosynthetic efficiency that can be reflected in productivity growth. In this context, the objective of the present work was to evaluate the effects of silicon application and different rates of nitrogen via top-dressing (0, 30, 60, 90 kg of N ha⁻¹) on production components and productivity in upland system and irrigated by using sprinkler irrigation. This experiment was realized in Dystrophic RED LATOSSOLO during the 2002/2003 agricultural season. The experimental delineation utilized was of causal blocks subdivided into four repetitions. The

following parameters were evaluated: concentrations of nitrogen and silicon in the leaf blades at the flowering time, silicon concentration in the plant at the end of the cycle, silicon quantity in the soil, plant height (cm), lodging, number of panicles and stems per square meter, total number of spikelets per panicle, number of spikelets grenades and no grenades per panicle, 100-grain weight, fertility of stems and spikelets, productivity and industry surrendering. Neither production components nor productivity was influenced by silicon application into seed furrows. Irrigation increased plant height, the number of spikelets grenades per panicle and grain yield. Nitrogen fertilizer in top-dressing increased the number of panicles per m² and the number of spikelets per panicle, but reduced the fertility of spikelets and the 100-grain weight. Due to the greater hydric availability realized in the system irrigated by sprinkler, grain productivity increased linearly with nitrogen fertilizer, while highland cultivation upland presented a response up to 37 kg of N ha⁻¹.

Key words: *Oryza sativa* L., nitrogen, silicate, cultivation systems.

3 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos principais cereais cultivados no mundo, apresenta grande importância social e econômica, destacando-se como alimento básico e fonte de proteínas. O Brasil é o maior produtor de arroz da América do Sul, onde são cultivados aproximadamente 5 milhões de hectares (BARBOSA FILHO et al., 2000).

A cultura do arroz apresenta uma ampla adaptação, pois além de ser cultivada em diferentes locais do mundo, é conduzida sob os ecossistemas de terras altas, utilizando ou não irrigação por aspersão e de várzeas, onde o cultivo ocorre com e sem irrigação por inundação controlada.

O cultivo de arroz no ecossistema de terras altas corresponde a aproximadamente 65,2% da área total cultivada com a cultura no Brasil, contribuindo com apenas 40,9% da produção nacional (YOKOYAMA, 2002). Esta situação é função da baixa produtividade obtida no sistema de cultivo sem irrigação, uma vez que este ocupa a maior área de cultivo. A baixa produtividade nesse sistema é resultado da distribuição irregular de chuvas nas principais regiões produtoras, o que compromete as fases em que o suprimento de água é indispensável, ocasionando reduções significativas na produtividade. Já o cultivo de arroz no ecossistema de várzeas corresponde a 34,8% da área total cultivada com a cultura e contribui com 59,1% da produção nacional (YOKOYAMA, 2002).

Atualmente, o arroz de terras altas não é utilizado apenas para a abertura de novas áreas, mas também para participação em sistemas de rotação com outras culturas de importância econômica, o que permite a utilização de alternativas de manejo

viáveis e promissoras com o intuito de maximizar a exploração do potencial produtivo dos cultivares.

É importante ressaltar que dentre os fatores que afetam a cultura do arroz, as doenças são motivo de grande preocupação, independente do sistema de cultivo. Em relação ao cultivo irrigado por aspersão um dos problemas mais importantes é o acamamento das plantas, ambos reduzem a produtividade e comprometem a qualidade dos grãos.

Neste contexto e em busca de maiores produtividades, tem-se usado o silício na adubação de algumas espécies de plantas. Apesar de não ser considerado um elemento essencial, o silício é o mais extraído pela cultura do arroz (TAKAHASHI, 1995). A adubação com silício pode ser eficiente no controle ou redução da incidência de doenças importantes para o arroz, podendo promover ainda vários benefícios, entre eles aumentar a resistência da planta ao acamamento.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para a cultura, sendo em alguns casos, fator limitante para altas produtividades, em virtude do desempenho de várias funções primordiais na planta. Entretanto, quando em excesso, pode promover aumento da altura da planta deixando-a suscetível ao acamamento, sombreamento e ocorrência de doenças, o que poderia ser amenizado com o uso do silício, uma vez que este elemento promove diversos benefícios.

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos promovidos pela presença e ausência de silício combinados com a aplicação de diferentes doses de nitrogênio em cobertura, nos componentes da produção e produtividade da cultura do arroz, em condições de sequeiro e de irrigação por aspersão, em solo originalmente sob vegetação de cerrado.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Importância da água na cultura do arroz

A água tem grande importância na produção vegetal, sua falta afeta decisivamente o desenvolvimento da planta, desse modo, seu manejo é fundamental para a maximização da produção agrícola.

A maioria das culturas possui períodos críticos bem definidos, durante os quais a deficiência hídrica pode causar sérias reduções na produtividade. No arroz a fase vegetativa parece ser a menos prejudicada pela deficiência hídrica, porém a fase reprodutiva é particularmente afetada (RODRIGUES, 1998). Nessa fase é onde ocorrem os estádios de alongação dos colmos, que envolve a iniciação do primórdio da panícula, diferenciação das ramificações da ráquis, diferenciação das espiguetas, divisão reducional (meiose) e o estágio de florescimento que envolve o início, floração e antese (FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993).

Cabe ressaltar que o efeito depressivo da deficiência hídrica na cultura do arroz depende do momento e do período de ocorrência (CRUSCIOL, 1998). Assim, Brunini (1975) considera que a falta de água em qualquer fase da cultura do arroz pode causar danos. Plantas menores, com área foliar e perfilhamento reduzidos são comuns quando a cultura sofre deficiência hídrica na fase vegetativa, mas se essa deficiência for corrigida antes do florescimento, a cultura poderá se recuperar e produzir satisfatoriamente.

Quando a deficiência hídrica ocorre durante a fase vegetativa, que

compreende o período desde a germinação até a diferenciação do primórdio da panícula há aumento do ciclo da cultura (CRUSCIOL, 1995; OLIVEIRA, 1995, CRUSCIOL et al., 1997a, 1997b), redução da altura da planta (STONE et al., 1984a; PINHEIRO et al., 1985; OLIVEIRA, 1995; CRUSCIOL et al., 1997a, 1997b) e, principalmente, do número de colmos por área (PINHEIRO et al., 1990; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993) e do número de panículas (STONE et al., 1979a, 1979b; 1984a; PINHEIRO et al., 1985; OLIVEIRA, 1995; CRUSCIOL et al., 1997b).

Durante a fase reprodutiva, que compreende o período da iniciação do primórdio da panícula até o florescimento, a deficiência hídrica, ainda pode reduzir o número de panículas pela não transformação da gema vegetativa em reprodutiva e pela degeneração do primórdio da panícula, afetando a porcentagem de colmos férteis (PINHEIRO et al., 1985; CRUSCIOL et al., 1997a). Se a deficiência hídrica ocorrer durante, aproximadamente, os primeiros 20 dias da fase reprodutiva, pode reduzir o número total de espiguetas por panícula (YOSHIDA, 1977; FAGERIA, 1980; OLIVEIRA, 1995; CRUSCIOL, 1997c).

A deficiência hídrica afeta o número de espiguetas granadas por panícula durante a formação da panícula e/ou durante as etapas de microsporogênese e de florescimento (STONE et al., 1984a; PINHEIRO et al., 1985; STONE et al., 1986; PINHEIRO et al., 1990; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1995; CRUSCIOL et al., 1997a, 1997b). Durante o emborrachamento e florescimento, a deficiência hídrica promove aumento do número de espiguetas chochas por panícula (STONE et al., 1984a, PINHEIRO et al., 1985; STONE et al., 1986; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1995; CRUSCIOL et al., 1997b).

Durante a fase de maturação, que compreende o período desde o florescimento até a maturação completa, a deficiência hídrica afeta o peso dos grãos (STONE et al., 1979a, 1979b; FAGERIA, 1980; STONE et al., 1984a, 1986), principalmente quando ocorre nos primeiros 14 dias após o florescimento. O peso dos grãos é uma característica varietal, que depende do tamanho da casca, determinado durante duas semanas que antecedem a antese (YOSHIDA, 1981) e do desenvolvimento da cariopse após o florescimento (MATSUSHIMA, 1970), portanto depende das translocações de carboidratos, nos primeiros sete dias, para preencher a casca no sentido do seu comprimento, e nos sete dias posteriores, na largura e espessura (MACHADO, 1994).

Há evidências de que a ocorrência de deficiência hídrica durante a fase de enchimento do grão deprecia significativamente a qualidade do arroz, diminuindo o peso do grão e aumentando a porcentagem de grãos gessados, promovendo maior quebra do produto (VIEIRA e CASTRO, 1998).

Contudo, a deficiência hídrica, na maioria das vezes, reduz a produtividade de grãos (STONE et al., 1979a, 1979b; FAGERIA, 1980; STONE et al., 1984a; PINHEIRO et al., 1985; STONE et al., 1986; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1995; CRUSCIOL et al., 1997b, 1997c), além de reduzir a eficiência do uso da água (STONE et al., 1984a) e com isso, a absorção de nutrientes (STONE, 1985).

Independente da quantidade de nitrogênio aplicada, o uso da irrigação por aspersão proporciona produtividades mais elevadas quando comparado ao arroz de sequeiro, que recebe apenas água das chuvas (COELHO, 1976).

Resultados obtidos por Giúdice et al. (1974) demonstraram que a irrigação por aspersão proporcionou produtividade de grãos mais elevada quando comparada ao tratamento em que a cultura recebia apenas água das chuvas. A deficiência hídrica acentuada na cultura do arroz reduziu o perfilhamento, o número total de espiguetas, o número de espiguetas granadas por panícula e a massa dos grãos. O número total de espiguetas por panícula foi o principal componente da produção responsável pela variação da produtividade de grãos, em consequência da disponibilidade de água para a cultura.

Outro aspecto importante diz respeito ao consumo de água pela cultura de arroz, que é de 30% durante a fase vegetativa; 55% durante a fase reprodutiva e 15% na fase de maturação (FAGERIA, 1980). Deficiências hídricas simuladas pela supressão da irrigação, em casa de vegetação, no início da emissão das panículas, com duração de quatro a oito dias, promoveram reduções da ordem de 60% e 87%, respectivamente, na produtividade de grãos (STONE et al., 1986).

O arroz cultivado no sistema de sequeiro apresenta, em geral, além da baixa produtividade, qualidade de grãos inferior quando comparado com os grãos oriundos do cultivo irrigado por inundação. A maior causa desse problema, além da constituição genética do material, está relacionada com os freqüentes períodos de deficiência hídrica que a planta sofre durante o ciclo. Tem-se observado que a porcentagem de espiguetas chochas e gessadas aumenta consideravelmente quando a deficiência hídrica ocorre durante as fases de emissão da

panícula e enchimento dos grãos (SANT'ANA, 1989). Com o uso da irrigação por aspersão, a planta de arroz não fica sujeita à deficiência hídrica e, como resultado, o processo de enchimento dos grãos é contínuo. Com isso, o número de espiguetas granadas por panícula e o peso de grãos são maiores (GIÚDICE et al., 1974; PINHEIRO et al., 1985).

De acordo com Giúdice et al. (1979) considerações especiais devem ser feitas para as condições de sequeiro, onde o fator limitante é a água. Dessa forma, a produtividade de grãos será seriamente comprometida se o teor de água no solo não for adequado, mesmo quando os demais fatores de produção estiverem em condições satisfatórias. Pinheiro et al. (1985) obtiveram aumento de produtividade de até 70%, usando diferentes cultivares de arroz de terras altas, em solo de cerrado, com uso de irrigação por aspersão.

Rodrigues e Arf (2002) trabalhando com manejo de água em cultivares de arroz de terras altas, observaram que a maior quantidade e melhor distribuição de água durante o desenvolvimento da cultura influenciaram positivamente o número total de espiguetas por panícula e a produtividade de grãos. Em média, para os tratamentos irrigados houve um incremento de 30% na produtividade pelo uso da irrigação.

Em outro estudo, Soratto et al. (2002) observaram que a irrigação por aspersão proporcionou aumento na altura da planta, massa de 100 grãos e produtividade de grãos.

4.2 Adubação nitrogenada na cultura do arroz

Dentre os nutrientes, o nitrogênio é o que mais influencia o crescimento e produção do arroz (MAE, 1986). É o nutriente que mais afeta a altura da planta, aumentando-a, e dessa forma proporcionando acamamento em alguns cultivares (DINIZ et al., 1976; ARF, 1993).

A adubação nitrogenada aumenta o número de colmos e panículas por área (DINIZ et al., 1976; SANTOS et al., 1986; BARBOSA FILHO, 1987; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993), o número total de espiguetas por panícula e a massa de grãos (BARBOSA FILHO, 1987; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993), além de promover maior número de espiguetas granadas e maior teor de proteínas nos grãos (BARBOSA FILHO, 1987).

Raramente tem-se observado resposta de cultivares pertencentes aos grupos tradicional e intermediário ao nitrogênio, tanto em condições de sequeiro quanto irrigado por aspersão, em relação à produtividade da cultura (STONE et al., 1984a, 1984b; SANTOS et al., 1986; ARF, 1993; PRABHU et al., 1996). Dessa forma, a resposta da cultura do arroz ao nitrogênio varia com o cultivar, com as condições climáticas, com o manejo de água e com as propriedades do solo (FAGERIA e WILCOX, 1977).

A deficiência hídrica afeta a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, embora ainda existam controvérsias sobre seu efeito na concentração e na quantidade total de N absorvida pela planta de arroz (STONE et al., 1984a, 1986). Há evidências de que os cultivares de arroz de terras altas apresentam teor mais baixo de nitrogênio e menor eficiência de utilização do adubo nitrogenado do que os de arroz irrigado por inundação (STONE, 1983).

Quando ocorre suprimento limitado de água, a aplicação de nitrogênio pode resultar somente na produção de mais palha, havendo redução na produtividade de grãos. O nitrogênio aumenta a área foliar, aumentando a demanda hídrica, o que torna a disponibilidade de água mais crítica (RAMIG e RHOADES, 1963; DONALD e HABLIM, 1976). Dessa forma, Pande e Singh (1970) verificaram que a associação da limitação de água à aplicação de nitrogênio, reduziu a produtividade pela alta porcentagem de esterilidade de espiguetas.

Estudos desenvolvidos por Stone e Silva (1998) constataram que a melhor dose de nitrogênio para a adubação do arroz no sistema de sequeiro é de 40 kg ha⁻¹, que deve ser parcelada em regiões sujeitas à deficiência hídrica, aplicando-se 1/3 na semeadura e 2/3 no início da diferenciação do primórdio da panícula.

Costa et al. (2002) trabalhando com o cultivar IAC 202, constataram que a aplicação parcelada do nitrogênio no estágio de diferenciação do primórdio da panícula aumentou o número de espiguetas por panícula e contribuiu para maior peso de grãos. A aplicação até 60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento proporcionou diminuição do número total de espiguetas por panícula.

Em outro estudo relatado por Santos et al. (1986) foi obtido aumento significativo na produção de grãos até 35 kg de N ha⁻¹, quando aplicado na fase de diferenciação do primórdio da panícula e em condições adequadas de água no solo.

Michelon et al. (2002) e Kunz et al. (2002) obtiveram resposta quadrática para a produtividade de grãos (cv. Primavera), com o aumento das doses de nitrogênio. A máxima produtividade (5696,5 kg ha⁻¹) foi obtida com aplicação de 130 kg de N ha⁻¹.

Sabendo-se da importância do nitrogênio, vale ressaltar que altas doses induzem à formação de grande número de perfilhos e folhas novas, provocando sombreamento, acamamento e criando condições favoráveis à ocorrência de doenças, refletindo em menor produção (MALAVOLTA e FORNASIERI FILHO, 1983; BARBOSA FILHO, 1987, 1991).

4.3 Importância do silício para a cultura do arroz

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, superado apenas pelo oxigênio. É encontrado somente em formas combinadas como a sílica (SiO₂) e minerais silicatados (LIMA FILHO et al., 1999). Acumula-se no tecido de todas as plantas, representado de 0,1 a 10% da matéria seca (KORNDÖRFER et al., 2002a).

Mesmo não sendo considerado essencial do ponto de vista fisiológico e metabólico para o crescimento e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1994), sua absorção traz inúmeros benefícios, principalmente para o arroz (BARBOSA FILHO et al., 2000).

Segundo Yoshida et al. (1962) estudos microscópicos realizados nas células da epiderme da folha bandeira do arroz mostraram que o silício está presente em compostos combinados de sílica e celulose abaixo da cutícula. Isso faz reduzir a transpiração e aumentar a resistência mecânica que as folhas oferecem à infecção de fungos e ao ataque de insetos. Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui nas plantas. Snyder et al. (1986) sugerem que as plantas de arroz deveriam conter pelo menos 3% de silício na parte aérea para garantir um ótimo desenvolvimento.

Após a absorção, o silício se polimeriza nas células da epiderme foliar formando uma camada rígida (YOSHIDA et al., 1959; MARSCHNER, 1995; TAKAHASHI, 1995) que funciona como uma barreira mecânica contra a colonização de fungos e bactérias no interior da planta, dificultando também o ataque de insetos. Além disso, esse acúmulo de sílica também influencia a estrutura das plantas, que ficam mais eretas, evitando o acamamento, a perda excessiva de água e promovendo uma melhor eficiência fotossintética, contribuindo para

maior produtividade da cultura (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995; BARBOSA FILHO et al., 2000; KORNDÖRFER et al., 2002a).

Korndörfer et al. (2001) trabalhando com a cultura do arroz irrigado, durante o período de 1992 a 1996, constataram que de um total de 28 experimentos de campo, houve efeito para o silício em 19 deles, em relação à produtividade de grãos, com aumento médio de 1007 kg ha⁻¹.

Dessa forma, foi observado que o Si aumenta o número total de espiguetas por panícula (MA et al., 1989; DEREN et al., 1994; TAKAHASHI, 1995), a fertilidade das espiguetas (BARBOSA FILHO, 1987; MATOH et al., 1991; TAKAHASHI, 1995) e a massa de grãos (BALASTA et al., 1989; MATOH et al., 1991; CARVALHO, 2000; MAUAD et al., 2003a). Com relação ao número de panículas, os resultados encontrados na literatura são contraditórios, enquanto Takahashi (1995) observou aumento, Ma et al (1989), Deren et al. (1994), Carvalho (2000) e Mauad et al. (2003a) não obtiveram aumento significativo.

A adubação com silício tem se mostrado eficiente também no controle e/ou redução da incidência de várias doenças importantes para o arroz. Uma aplicação de silício antes da semeadura pode eliminar ou reduzir o número de aplicações com fungicidas durante o ciclo da cultura. Com base nisso, várias doenças foram avaliadas quantitativamente por um período de três anos, concluindo-se que o silício pode exercer controle efetivo de algumas doenças com redução do impacto ambiental e aumento da produtividade (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995).

Estudos realizados no sul da Flórida, demonstraram que a adubação com silício reduziu a incidência de brusone de 17 a 31% e a mancha parda de 15 a 32% em relação ao tratamento que não recebeu silício (DATNOFF et al., 1991).

Em Tocantins, Santos et al. (2003) obtiveram bons resultados utilizando o silício no controle das principais doenças do arroz irrigado. A brusone foi reduzida em aproximadamente 19% por efeito do silício. E, em média, a produção foi 33% superior nas parcelas adubadas com silício.

A incidência de doenças é menor quando o teor de silício no tecido da planta é maior (DATNOFF et al., 1990, 1991). Dessa forma, o efeito do silício sobre as doenças do arroz é ainda mais marcante quando o mesmo é adubado com doses elevadas de N

(DATNOFF et al., 1990). Isso ocorre em função da adubação nitrogenada deixar o arroz mais sensível às doenças e, particularmente ao ataque de brusone (*Pyricularia grisea*).

4.3.1 Silício no solo

O silício está presente na solução do solo como ácido monossilícico (H_4SiO_4), a maior parte não dissociada, o qual é prontamente absorvido pela planta (RAVEN, 1983). As principais fontes de silício presentes na solução do solo são resultados da decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, da liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissociação de minerais cristalinos e não cristalinos, da adição de fertilizantes silicatados e da água de irrigação. Os principais drenos constituem a precipitação do silício em solução formando minerais, a polimerização do ácido silícico, lixiviação, adsorção pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al e a absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999).

Solos tropicais e subtropicais submetidos a intemperização e lixiviação, com cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de silício trocável, devido a dessilicificação. Normalmente apresentam baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de P. Esses solos, quando utilizados intensivamente, principalmente com culturas acumuladoras de silício, podem tornar-se, paulatinamente deficientes no elemento, pois a exportação não é compensada pela adubação silicatada (LIMA FILHO et al., 1999).

Dessa forma, Korndörfer et al. (1999) ressaltam que em solos com baixos teores de “silício disponível”, a adubação com silicato de cálcio além de fornecer silício, pode melhorar as características químicas do solo tais como pH, saturação por bases, saturação por alumínio e Ca trocável.

Os valores de silício no solo, utilizando como extrator o ácido acético, são considerados baixo quando menor que 6 mg dm^{-3} , médio entre 6 e 24 mg dm^{-3} , e alto, acima de 24 mg dm^{-3} , sendo esses valores estimados para os solos orgânicos e arenosos da Flórida (KORNDÖRFER et al., 2001). Solos com teores de silício, extraídos em ácido acético, inferiores a 10 mg dm^{-3} , deveriam receber adubação silicatada para obtenção de rendimentos máximos, enquanto que, solos com teores superiores a 15 mg dm^{-3} , não necessitariam do elemento (KORNDÖRFER et al., 2003).

Camargo et al. (2002) avaliaram a disponibilidade de silício em relação às características físicas de 19 solos sob vegetação de cerrado. Os autores observaram que os valores de silício diminuíram à medida que o teor de areia dos solos aumentou, apresentando correlação significativa. Portanto, solos com altas porcentagens de areia apresentaram tendência a baixos teores de Si, pois o quartzo com alto teor de SiO_2 , presente em grande quantidade nesses solos é praticamente inerte. Além disso, solos muito arenosos possuem drenagem excessiva, carreando o Si disponível para horizontes mais profundos. Foi observado também, que os teores de silício aumentaram com a quantidade crescente de argila dos solos, esse comportamento pode ser explicado pela capacidade de adsorção de Si pelas argilas, evitando sua lixiviação.

4.3.2 Silício na planta

Acredita-se que o silício seja absorvido por fluxo de massa pelas gramíneas, por processo não seletivo (YASSUDA, 1989).

A principal forma na qual o silício é encontrado na planta é a sílica amorfa hidratada, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ e depois na forma de polímeros, formando complexos com polifenóis de grande estabilidade e baixa solubilidade. A maior parte do silício deposita-se no apoplasto na forma sólida, onde se torna imóvel. Nas folhas de arroz, forma-se uma camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas, contribuindo para fortalecer a estrutura da planta, aumentar a resistência ao acamamento, reduzindo a perda de água e dificultando a penetração de hifas de fungos (TAKAHASHI, 1995, KORNDÖRFER et al., 2002a).

Em função desta dupla camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas, além de menor transpiração que reflete em maior economia de água, as plantas de arroz mantêm suas folhas mais eretas promovendo maior aproveitamento da luz e esta refletindo num maior aproveitamento fotossintético (TAKAHASHI, 1995).

Assim, o uso do silício tem promovido melhoria na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese (DEREN et al., 1994) resultado de uma menor abertura do ângulo foliar, deixando as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de alta densidade populacional e altas doses de nitrogênio (YOSHIDA et al., 1969; BALASTA et al., 1989).

Savant et al. (1997) afirmam que após o silício ser absorvido pelas plantas como ácido monossilícico e a água ser perdida pela evapotranspiração, o silício fica depositado no tecido da epiderme das folhas de arroz. Assim, há evidências de que a redução da transpiração cuticular pode chegar a 30% nas plantas tratadas com silício (YOSHIDA et al., 1959). Horiguchi (1988) e Agarie et al. (1998) encontraram menor taxa de transpiração em plantas que cresceram em meio onde havia silício.

Ma et al. (1989) observaram que a adubação silicatada na cultura do arroz aumentou o número de panículas, o número total de espiguetas por panículas, sendo que, o peso de 1000 sementes permaneceu estável. O maior efeito do silício ocorreu aumentando a fertilidade de espiguetas. Os autores constataram também que o estágio mais importante para o suprimento de silício foi o reprodutivo. Assim, Takahashi (1995) verificou que a ausência de silício reduziu o número de panículas m^{-2} , o número total de espiguetas por panícula e a fertilidade das espiguetas, não interferindo na massa de grãos.

Outro aspecto importante diz respeito à quantidade de sílica (SiO_2) absorvida pelas plantas de arroz que, segundo Takahashi (1995), é 6 vezes maior que a de K, 10 vezes maior que de N, 20 vezes maior que a de P_2O_5 e 30 vezes maior que a de Ca.

De acordo com Wallace (1989, 1992) em plantas onde a absorção de cátions ($K + Ca + Mg + Na$) é quase igual à absorção de ânions ($NO_3^- + H_2PO_4^- + SO_4^{2-} + Cl^-$), a absorção de silício é relativamente baixa. Quando a absorção de cátions pelas raízes das plantas excede a absorção de ânions, a solubilidade de silício é reduzida pelo aumento de acidificação do solo. Quando a absorção de ânions excede a absorção de cátions, a solubilidade de silício aumenta devido à elevação do pH do solo.

Wallace (1989) em experimento com aveia, arroz e tomate, observou que o nitrogênio diminuiu a concentração de silício nas plantas de arroz e aveia, porém nenhuma diferença foi observada para o tomate, e que o amônio é mais prejudicial que o N nítrico para a absorção de silício.

Estudando em condições de campo efeitos de fontes e doses de silício nos componentes da produção da cultura do arroz, cultivar IAC 202, irrigado por aspersão, Carvalho (2000) não obteve resposta significativa para o número de panículas por metro quadrado, número de espiguetas por panícula, porcentagem de espiguetas e produtividade, com exceção apenas da massa de grãos.

Outro estudo desenvolvido por Mauad (2001) avaliou em túnel plástico, os efeitos da adubação nitrogenada e silicatada nos componentes vegetativos e da produção, na altura da planta, na produtividade, nos teores de macronutrientes, nos teores de silício no solo e na planta, e na anatomia da folha bandeira da cultura do arroz (cultivar IAC 202). O autor observou que o incremento da adubação nitrogenada aumentou o número de colmos e panículas por metro quadrado, o número total de espiguetas e a produtividade, enquanto que a porcentagem de colmos férteis, fertilidade das espiguetas e massa de grãos diminuíram; a adubação silicatada proporcionou aumento significativo na massa de grãos. O autor ressalta ainda que o aumento nos níveis da adubação nitrogenada diminuiu a deposição de silício na parede externa das células da epiderme das folhas de arroz; o silicato de cálcio aumentou os teores de silício no solo, mostrando-se uma boa fonte de silício para a cultura.

Estudos desenvolvidos por Korndörfer et al. (2002b) avaliaram o efeito de quatro doses de silício (0, 200, 400 e 600 kg ha⁻¹) na forma de silicato de cálcio, em dois solos de cerrado (Latosolo Vermelho-Amarelo (LVa) e Areia Quartzosa (AQa)), sobre a produção de grãos da cultura do arroz e a tolerância à falta de água (3 níveis de água 60, 70 e 80% C.C.), tendo como princípio o fato de que uma planta que acumula silício na epiderme das folhas é mais tolerante à falta de água porque consegue ser mais eficiente na regulação da transpiração. Os autores verificaram que o silício promoveu aumento na produção de grãos e tolerância à falta de água, sendo que os efeitos do silício sobre a produção de grãos foram maiores quando os solos foram submetidos a uma maior tensão de água, ou seja, menor disponibilidade de água.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização do experimento e características do local

O experimento foi instalado e conduzido no ano agrícola de 2002/03, em área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS, apresentando como coordenadas geográficas 51° 22' de Longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de Latitude Sul, com altitude de 335 metros.

O solo do local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, A moderado, hipodistrófico álico, caulinitico, férrico, compactado, muito profundo, moderadamente ácido (LVd.) (EMBRAPA, 1999). A precipitação média anual é de aproximadamente 1.370 mm, a temperatura média anual é de 23,5°C e a umidade relativa do ar está entre 70 e 80% (média anual).

5.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas e com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelos sistemas de cultivo (sequeiro e irrigação por aspersão) e as subparcelas pela combinação da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹). Cada subparcela foi constituída por seis linhas de seis metros de comprimento, sendo considerada como área útil as três linhas centrais, desprezando-se 0,5 metro das extremidades.

5.3 Características do cultivar

O cultivar Primavera proveniente do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - EMBRAPA é resultado do cruzamento IRAT 10 X LS 85-158. Apresenta como características porte médio (100-120 cm), ciclo curto (112 dias), 79-84 dias da emergência ao florescimento, grãos tipo longo fino (agulhinha), moderadamente suscetível a brusone (*Pyricularia oryzaea* Cav.) e ao acamamento (BRESEGHELLO et al., 1998).

5.4 Instalação e condução do experimento

Antes da instalação do experimento e após a colheita do arroz foram coletadas amostras de solo da área experimental e realizada a análise química, segundo metodologia descrita por Raij e Quaggio (1983), cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Características químicas do solo, antes da instalação do experimento, na camada de 0-20 cm.

P resina (mg dm ⁻³)	M.O. (g dm ⁻³)	pH CaCl ₂	Si* (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	H+Al mmol/dm ³	Al	SB	CTC	V (%)
9,0	17,0	4,7	43,0	1,3	15,0	9,0	34,0	1,0	25,7	59,7	43,0

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia – UNESP - Ilha Solteira (SP)
* extrator ácido acético 0,5 M

Tabela 2. Características químicas do solo coletado na entrelinha, após colheita do arroz, na camada de 0-20 cm.

P resina (mg dm ⁻³)	M.O. (g dm ⁻³)	pH CaCl ₂	Si* (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	H+Al mmol/dm ³	Al	SB	CTC	V (%)
14,1	28,32	4,9	3,2	0,9	20,6	11,9	35,2	2,0	33,5	68,7	48,8

Fonte: Laboratório Relação Solo-Planta da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP – Botucatu (SP)
* extrator cloreto de cálcio 0,01 M

Tabela 3. Características químicas do solo coletado na linha de semeadura, após colheita do arroz, na camada de 0-20 cm.

P resina (mg dm ⁻³)	M.O. (g dm ⁻³)	pH CaCl ₂	Si* (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	H+Al mmol/dm ³	SB	CTC	V (%)
29,1	35,5	5,0	4,1	2,0	22,4	12,7	36,7	37,0	73,7	50

Fonte: Laboratório Relação Solo-Planta da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP – Botucatu (SP)
* extrator cloreto de cálcio 0,01 M

A sementeira foi realizada, manualmente em 25/11/02, no espaçamento de 0,33 m entrelinhas e densidade de 100 sementes viáveis por metro quadrado. Junto com as sementes aplicou-se carbofuran (1,5 kg ha⁻¹ do i.a.) visando o controle de cupins (*Syntermes molestus*, *Procornitemes striatus* e *Cornitermes lespesii*) e lagarta elasma (*Elasmopalpus lignosellus*). A adubação de sementeira foi realizada com aplicação de 250 kg da fórmula 04-30-10 + 0,4% Zn.

Logo após a sementeira, o silício foi aplicado no sulco, na dose de 100 kg de Si ha⁻¹ que correspondeu a 1000 kg ha⁻¹ da fonte utilizada, um silicato de Ca e Mg, que permaneceu em contato direto com as sementes. Após a aplicação do Si os sulcos foram cobertos manualmente com auxílio de rastelos. Cabe ressaltar que a aplicação do silicato não prejudicou a emergência e o desenvolvimento das plantas. Na Tabela 4 encontra-se a composição química da fonte de silício utilizada.

Tabela 4. Composição química do silicato de cálcio e magnésio.

CaO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Mo	Zn
----- % -----								----- µg g ⁻¹ -----	
42	12	23	0,42	0,19	0,37	11	1,8	0,400	0,133

Fonte: Universidade Federal de Viçosa (MG)

O fornecimento de água nas parcelas irrigadas foi realizado por um sistema fixo de irrigação convencional por aspersão com vazão média de 3,3 mm/hora nos aspersores. A precipitação pluvial foi determinada em um pluviômetro Ville de Paris, instalado na área experimental, estando os valores apresentados na Figura 1. A reposição de água durante o desenvolvimento da cultura foi realizada quando o solo atingiu os valores da CAD (capacidade de água disponível às plantas) pré-estabelecida.

Com os valores obtidos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e profundidade efetiva do sistema radicular (PESR) foi determinada a capacidade de água disponível (CAD) mediante a seguinte expressão:

$$CAD = \frac{CC - PMP}{10} \times d \times PESR$$

onde:

CC e PMP = % em peso

d = densidade do solo (g cm^{-3})

PESR = cm

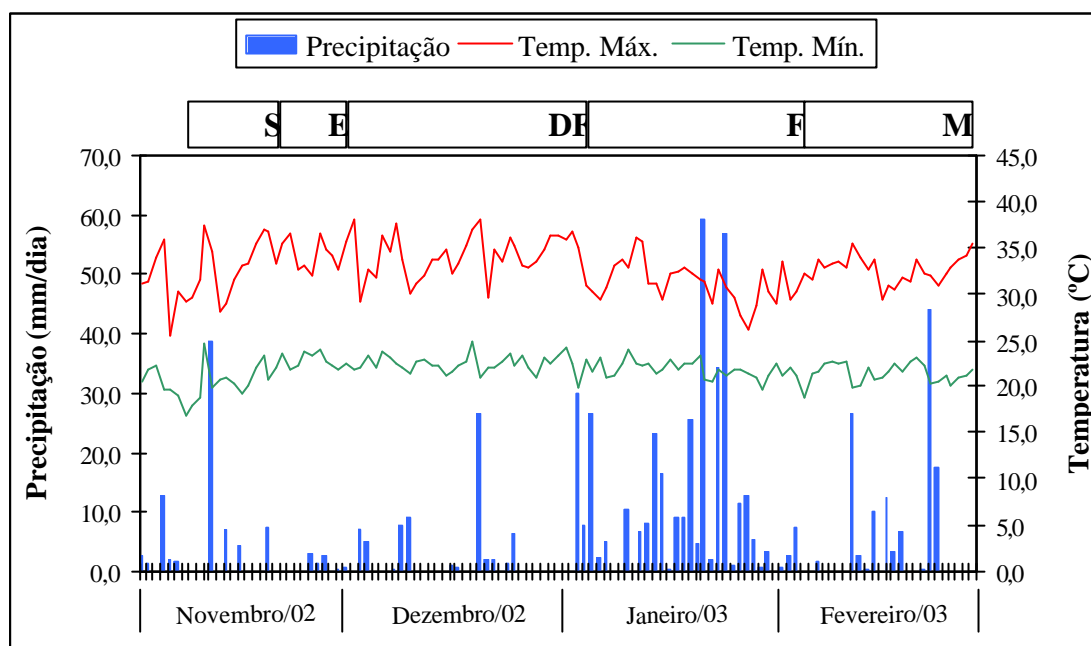


Figura 1. Precipitação pluvial (mm/dia), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), obtidas na área experimental, durante o período de novembro de 2002 a fevereiro de 2003. Selvíria – MS. (S – semeadura; E – emergência; DF – diferenciação floral; F – Florescimento; M – maturação).

O valor de água disponível (AD) é a fração (f) da CAD, que deve ser utilizada pela cultura antes de iniciar um déficit hídrico. O valor utilizado para o arroz de terras altas foi de 0,6 conforme Augusto e Silva (1990). Portanto, $AD = CAD \times 0,6$.

Para a determinação da E_{tm} foi utilizada a expressão: $E_{tm} = K_c \times E_{To}$; onde E_{tm} = evapotranspiração máxima da cultura (mm/dia), E_{To} = evapotranspiração de referência (mm/dia) e k_c = coeficiente da cultura, que varia de acordo com os estádios de desenvolvimento da mesma. No manejo de água utilizou-se três coeficientes de cultura (k_c), distribuídos entre a emergência e a colheita (Tabela 5).

Tabela 5. Coeficientes da cultura (kc) distribuídos em períodos compreendidos entre a emergência e a colheita.

	E	DF				F	
	Fase vegetativa	Fase reprodutiva				Fase de maturação	
		-30*	-19*	-11*	-3*	+5*	+20*
kc	0,40	0,70	1,00	1,00	1,00	0,70	

*Períodos (em dias, em relação ao florescimento) de utilização dos coeficientes de cultura

E: emergência

DF: diferenciação floral

F: florescimento

A Evapotranspiração de referência foi determinada pela expressão: $ET_o = k_p \times ECA$; onde ET_o = evapotranspiração de referência (mm/dia), ECA = evaporação do Tanque Classe A (mm/dia) e k_p = coeficiente do tanque. A evaporação de água foi obtida diariamente do Tanque Classe A instalado no Posto Agrometeorológico da Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP–Campus de Ilha Solteira. O coeficiente do tanque (k_p) utilizado foi o proposto por Doorembos e Pruitt (1976), o qual é em função da área circundante, velocidade do vento e da umidade relativa do ar. Portanto, o manejo da irrigação foi realizado subtraindo-se sucessivamente o valor da evapotranspiração máxima da cultura (E_{tm}) do armazenamento de água do solo (CAD máxima) até que o total de água atingisse o valor da AD (água disponível), e eventuais chuvas foram adicionadas.

A adubação nitrogenada em cobertura (diferentes doses) foi realizada aos 31 dias após emergência das plântulas (DAE), próximo à diferenciação floral, utilizando a uréia como fonte de nitrogênio.

O controle de plantas daninhas foi realizado aplicando-se os herbicidas oxadiazon (750 g ha⁻¹ do i.a.), em pré-emergência, e aos 17 DAE foi aplicado bentazon (720 g ha⁻¹ do i.a.). Após esse período foram realizadas apenas capinas manuais.

A emergência das plantas ocorreu aos oito dias após semeadura (DAS) e o florescimento aos 66 DAE. A cultura apresentou ciclo de 86 dias após emergência.

A colheita do arroz foi efetuada manualmente em 27/02/03, aos 86

DAE, tanto nas parcelas irrigadas como nas parcelas sem irrigação, individualmente por unidade experimental, quando 90% das panículas apresentavam os grãos com coloração típica de maduros, coletando-se três linhas de quatro metros de comprimento, totalizando 12 metros. O material foi submetido à trilha e secagem à sombra em bandejas feitas com jornal. Foi realizada a abanação manual utilizando peneiras apropriadas para a limpeza do material, em seguida determinou-se o peso dos grãos colhidos.

5.5 Características de importância agrônômica

5.5.1 Altura da planta (cm)

Foi medida a distância média compreendida entre a superfície do solo e a extremidade superior da panícula mais alta, determinada durante o estágio de grão pastoso, em 10 plantas ao acaso, na área útil de cada subparcela.

5.5.2 Acamamento

Foi avaliado mediante observações visuais no final da fase de maturação das plantas, em cada subparcela, utilizando-se a seguinte escala de notas: **0** – sem acamamento; **1** – até 5% de plantas acamadas; **2** – de 5 a 25% de plantas acamadas; **3** – 25 a 30% de plantas acamadas; **4** – 50 a 75% de plantas acamadas; **5** – de 75 a 100% de plantas acamadas.

5.5.3 Componentes vegetativos

5.5.3.1 Número de colmos por metro quadrado

Antecedendo a colheita, foi realizada a contagem do número de colmos contidos em 1,0 metro de fileira de plantas, na área útil das subparcelas, e posteriormente calculado por metro quadrado.

5.5.3.2 Fertilidade dos colmos

Determinada pela relação entre o número de panículas por metro quadrado e o número de colmos por metro quadrado, multiplicada por cem.

5.5.3.3 Número de espiguetas granadas e chochas por panícula

Determinado pela contagem do número de espiguetas granadas e chochas de 15 panículas, pelo contador de grãos, após a separação das mesmas por fluxo de ar.

5.5.4 Componentes da produção

5.5.4.1 Número de panículas por metro quadrado

Antecedendo a colheita, foi realizada a contagem do número de panículas contidas em 1,0 metro de fileira de plantas, na área útil das subparcelas, e posteriormente calculado por metro quadrado.

5.5.4.2 Número total de espiguetas por panícula

Foram coletadas 15 panículas em cada subparcela, antecedendo a colheita, e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados, para posterior contagem do número total de espiguetas.

5.5.4.3 Fertilidade das espiguetas

Determinada a partir da relação entre o número de espiguetas granadas por panícula e o número total de espiguetas por panícula, multiplicada por cem.

5.5.4.4 Massa de 100 grãos

Avaliada mediante coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 100 grãos de cada subparcela, corrigindo posteriormente a umidade dos grãos para 13% (base úmida).

5.5.5 Produtividade de grãos

Determinada mediante pesagem dos grãos em casca, provenientes da área útil das subparcelas, corrigindo-se a umidade para 13% e convertendo em kg/ha.

5.5.6 Rendimento de engenho

Foi coletada uma amostra de 100g de grãos de arroz em casca por

subparcela, a qual foi processada em engenho de prova, por 1 minuto; em seguida, os grãos brunidos (polidos) foram pesados e o valor encontrado considerado como rendimento de benefício, sendo os dados expressos em porcentagem. Posteriormente, os grãos brunidos (polidos) foram colocados no “Trieur” nº 2 e a separação dos grãos foi processada por 30 segundos; os grãos que permaneceram no “Trieur” foram pesados, e o valor obtido considerado rendimento de inteiros, e os demais, grãos quebrados, ambos expressos em porcentagem.

5.5.7 Teor de nitrogênio na folha bandeira

No florescimento foram coletados os limbos foliares de 30 folhas bandeira por subparcela, que após secagem, foram moídas em moinho tipo Willey, para em seguida sofrerem digestão sulfúrica, conforme metodologia de Sarruge e Haag (1974).

5.5.8 Análise do teor de silício no solo

Em função da aplicação de silício ter sido realizada no sulco de semeadura, foram determinados os teores de silício após a colheita do arroz, na linha e na entrelinha, utilizando como extrator o cloreto de cálcio 0,01 M, segundo a técnica descrita por Korndörfer et al. (1999).

5.5.9 Análise do teor de silício no tecido vegetal

O teor de silício no tecido vegetal (folha bandeira e planta) foi determinado conforme técnica descrita por Elliott e Snyder (1991) adaptada por Korndörfer et al. (1999). O material analisado foi coletado em duas épocas, no florescimento (folha bandeira) e no final do ciclo (plantas maduras – colmos e folhas).

5.6 Análise estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa SISVAR. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo que, para os sistemas de cultivo e silício foi realizada a comparação de médias e para as doses de nitrogênio, a análise de regressão.

O quadro da análise de variância do experimento está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Análise de variância do experimento.

Causas da variação	Graus de liberdade
Bloco	3
Sistemas de cultivo (SC)	1
Resíduo A	3
Subtotal	7
Silício (Si)	1
Nitrogênio (N)	3
SC x Si	1
SC x N	3
SC x Si x N	3
Si x N	3
Resíduo B	42
Total	63

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Teores de silício e de nitrogênio

Os resultados dos teores de silício no solo, na folha bandeira e na planta e de nitrogênio na folha bandeira em função dos sistemas de cultivo e adubação com silício e nitrogênio, estão apresentados nas Tabelas 7 a 10 e nas Figuras 2 a 12.

Tabela 7. Valores médios¹ do teor de silício no solo, na folha bandeira e na planta e teor de nitrogênio na folha bandeira obtidos em arroz, cultivado no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão, com e sem aplicação de silício.

Tratamentos	Teor de silício no solo ²		Teor de silício		Teor de nitrogênio na folha bandeira
	linha	entrelinha	folha bandeira	planta	
	-----mg dm ⁻³ -----		-----g kg ⁻¹ -----		
Sistemas de cultivo					
Sequeiro	5,7 a	5,1 a	26,3 a	23,3 a	28,2 a
Aspersão	6,0 a	4,9 a	28,2 a	25,7 a	27,3 a
Si (kg ha⁻¹)					
0	5,6 b	4,8 a	26,4 a	24,3 a	27,8 a
100	6,2 a	5,2 a	28,2 a	24,7 a	27,8 a
CV_{parcela} (%)	21,3	25,3	10,1	21,5	4,9
CV_{subparcela} (%)	15,6	22,4	14,6	18,0	5,0

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

² extrator cloreto de cálcio 0,01 M.

O teor de silício no solo coletado na linha de semeadura foi influenciado pela aplicação de silício (Tabela 7), doses de N (Figura 2) e pelas interações entre sistemas de cultivo e silício (Tabela 8), sistemas de cultivo e doses de N (Figura 3) e silício e doses de N (Figura 4). A adubação com 100 kg de Si ha⁻¹ proporcionou maior teor de silício na linha de semeadura em relação ao já existente no solo (Tabela 7). Houve comportamento quadrático para o teor de silício na linha de semeadura, em função do aumento das doses de N, com menores valores em relação à testemunha (sem N) (Figura 2). Esse resultado discorda do encontrado por Mauad (2001), que não observou influência da adubação nitrogenada no teor de silício no solo. Para o teor de silício na entrelinha, não houve efeito significativo dos tratamentos, e os valores encontrados foram menores.

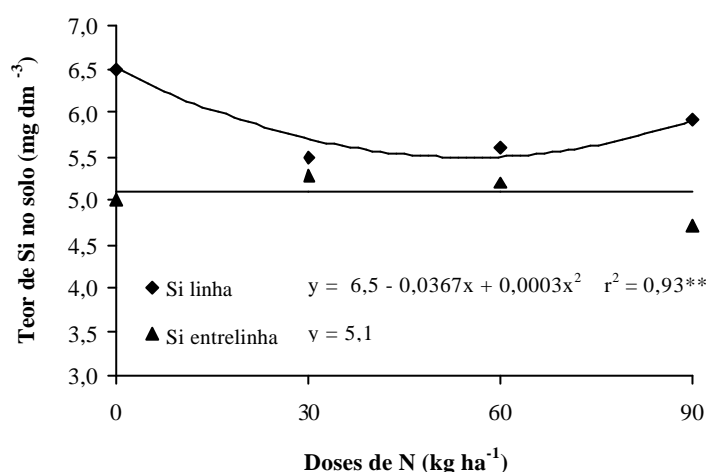


Figura 2. Teor de silício no solo (na linha e na entrelinha), em função da aplicação de doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas, Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

No desdobramento da interação silício dentro de sistemas de cultivo (Tabela 8), o maior teor de Si na linha de semeadura foi obtido no sistema de sequeiro quando aplicado 100 kg de Si ha⁻¹ no sulco de semeadura.

Tabela 8. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao teor de silício no solo coletado na linha de semeadura (mg dm^{-3}).

Sistemas de cultivo	Teor de Si no solo - linha de semeadura (mg dm^{-3})	
	Si - 0 (kg ha^{-1})	Si - 100 (kg ha^{-1})
Sequeiro	5,7 a B*	6,4 a A
Aspersão	5,5 a A	6,0 a A

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando os resultados de sistemas de cultivo dentro de doses de N (Figura 3), verificou-se efeito significativo apenas para o sistema de sequeiro, onde houve resposta quadrática quanto ao teor de Si na linha, sendo que este diminuiu até 60 kg de N ha^{-1} ($5,6 \text{ mg dm}^{-3}$) aumentando com a dose de 90 kg de N ha^{-1} ($6,1 \text{ mg dm}^{-3}$), no entanto, os valores ainda foram menores que o encontrado na ausência de N ($6,7 \text{ mg dm}^{-3}$).

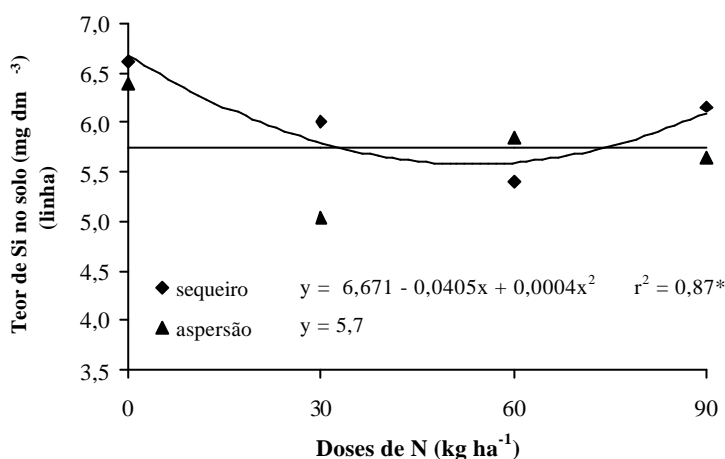


Figura 3. Teor de silício no solo, na linha de semeadura, em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.

* significativo a 5% de probabilidade.

Para o efeito de silício dentro de doses de N (Figura 4), os dados se ajustaram a uma função quadrática, onde com a aplicação de 100 kg de Si ha^{-1} , observou-se menor teor de silício no solo coletado na linha de semeadura ($5,8 \text{ mg dm}^{-3}$) até 60 kg de N ha^{-1} e depois aumento, com 90 kg de N ha^{-1} ($6,5 \text{ mg dm}^{-3}$).

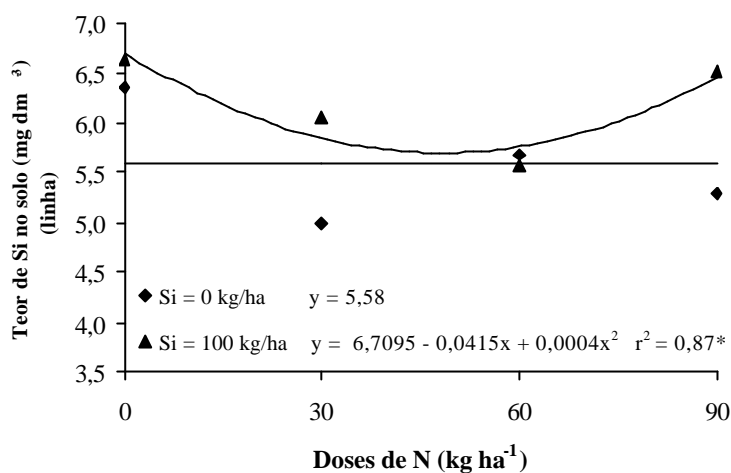


Figura 4. Teor de silício no solo, na linha de semeadura, em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. * significativo a 5% de probabilidade.

Quanto ao teor de silício no solo na entrelinha houve interação entre silício e doses de nitrogênio (Figura 5). Verificou-se que com a aplicação de 100 kg de Si ha⁻¹ no sulco de semeadura ocorreu aumento no teor de silício no solo na entrelinha até 30 kg de N ha⁻¹, e depois decréscimo com o aumento das doses de nitrogênio. Entretanto, esses valores foram menores que os encontrados para silício na linha de semeadura, pois a adubação silicatada foi realizada no sulco de semeadura.

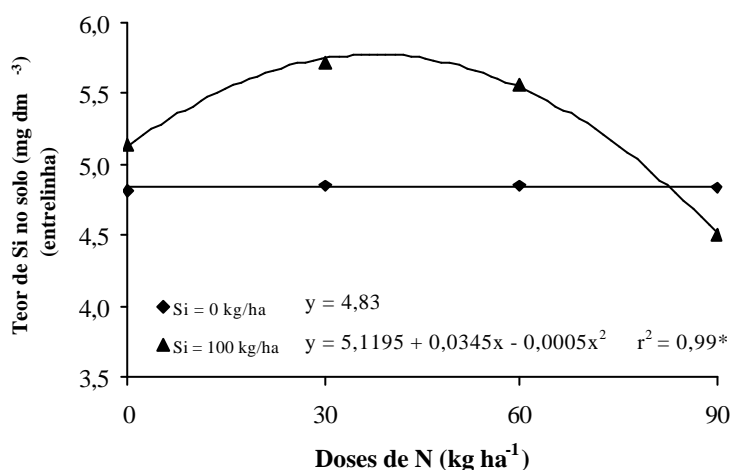


Figura 5. Teor de silício no solo, na entrelinha, em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.

* significativo a 5% de probabilidade.

Com relação ao teor de silício na folha bandeira houve efeito da interação entre sistemas de cultivo e aplicação de silício, estando o desdobramento contido na Tabela 9. Analisando os resultados de sistemas de cultivo dentro de aplicação de silício, verificou-se que o maior teor de Si na folha bandeira na ausência de aplicação do elemento no solo foi com o uso de irrigação por aspersão. Esse resultado pode estar relacionado com a quantidade de água presente no solo, pois em solo irrigado ou inundado o teor de Si tende ser maior devido principalmente à despolimerização, aumento do pH e dessorção de Si dos argilominerais, portanto, esta situação contribuiu para maior absorção do silício existente no solo.

Tabela 9. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao teor de silício na folha bandeira (g kg^{-1}).

Sistemas de cultivo	Teor de silício na folha bandeira (g kg^{-1})	
	Si - 0 (kg ha^{-1})	Si - 100 (kg ha^{-1})
Sequeiro	25,1 b A*	27,6 a A
Aspersão	27,7 a A	28,8 a A

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para os teores de silício na folha bandeira e na planta houve efeito significativo das doses de N (Figura 6) e das interações entre sistemas de cultivo e doses de N (Figuras 7 e 8, respectivamente) e entre silício e doses de N (Figuras 9 e 10, respectivamente).

Os teores de Si na folha bandeira e na planta foram reduzidos linearmente à medida que se aumentou a dose de nitrogênio, e os valores encontrados para a folha bandeira, foram maiores quando comparado aos teores encontrados na planta (Figura 6). Nesse caso, provavelmente pode ter ocorrido efeito diluição, pois aplicou-se doses crescentes de N, favorecendo maior desenvolvimento da planta e apenas uma dose de Si, entretanto, cabe ressaltar que pouco se conhece sobre o mecanismo de absorção do Si pela planta e este ainda é contraditório na literatura (VORM, 1980; MENGEL e KIRKBY, 1987).

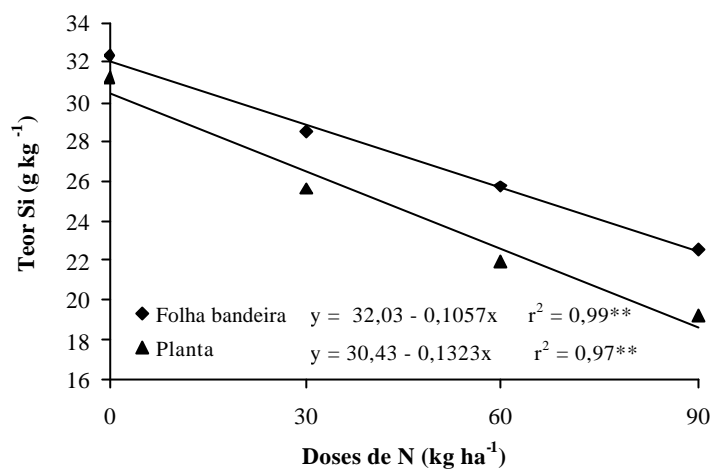


Figura 6. Teor de silício na folha bandeira e na planta em função da aplicação de doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas, Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Para o efeito entre sistemas de cultivo e doses de N, observou-se que os teores de Si na folha bandeira e na planta reduziram linearmente com o aumento das doses de nitrogênio, sendo constatado maiores valores quando o arroz foi cultivado no sistema irrigado por aspersão (Figuras 7 e 8, respectivamente), condição que provavelmente contribuiu para maior absorção do elemento, considerando que este seja absorvido por fluxo de massa pelas gramíneas (YASSUDA, 1989) e que seu transporte da raiz até a parte aérea ocorra principalmente pelo movimento ascendente da água no interior da planta (JONES e HANDRECK, 1965).

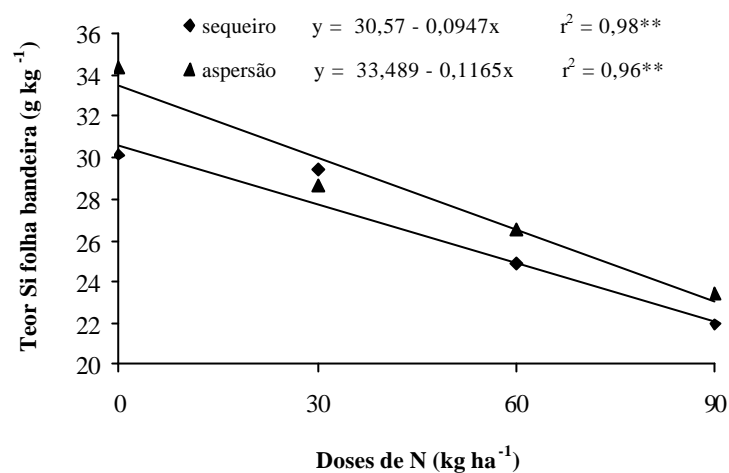


Figura 7. Teor de silício na folha bandeira em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

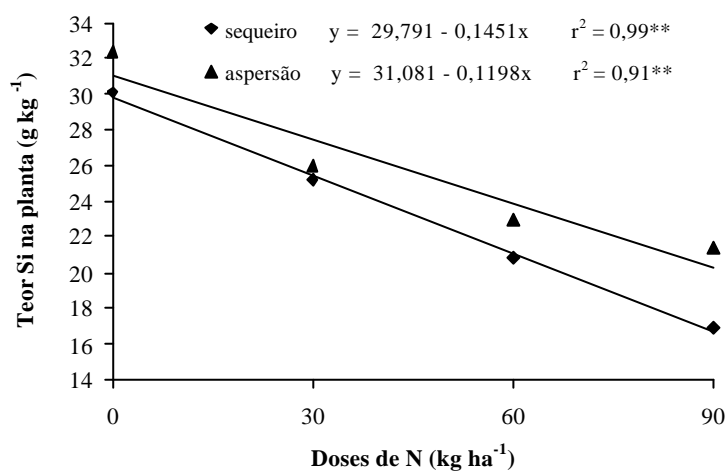


Figura 8. Teor de silício na planta em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Houve redução do teor de silício na folha bandeira e na planta com o aumento das doses de nitrogênio (Figuras 9 e 10, respectivamente) e constatou-se que o maior teor de Si foi encontrado na ausência de adubação nitrogenada.

Para a cultura do arroz os teores de silício na planta são considerados baixos quando menores que 17 g kg^{-1} , médios entre 17 e 34 g kg^{-1} e altos acima de 34 g kg^{-1} (KORNDÖRFER et al., 2001). Portanto, os teores de silício na folha bandeira e na planta observados neste trabalho estavam na faixa considerada média.

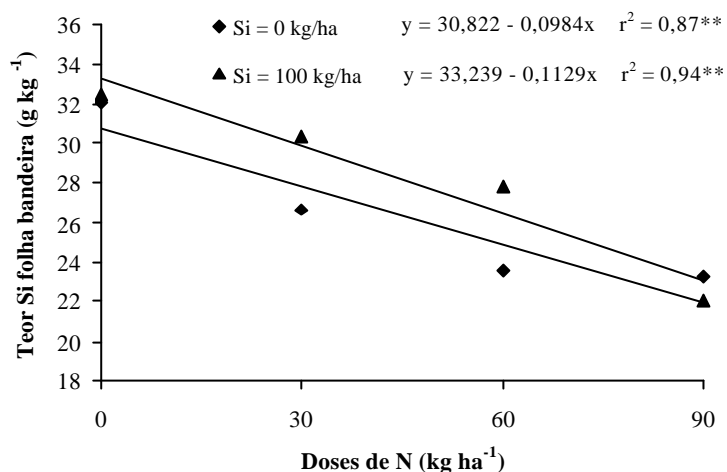


Figura 9. Teor de silício na folha bandeira em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

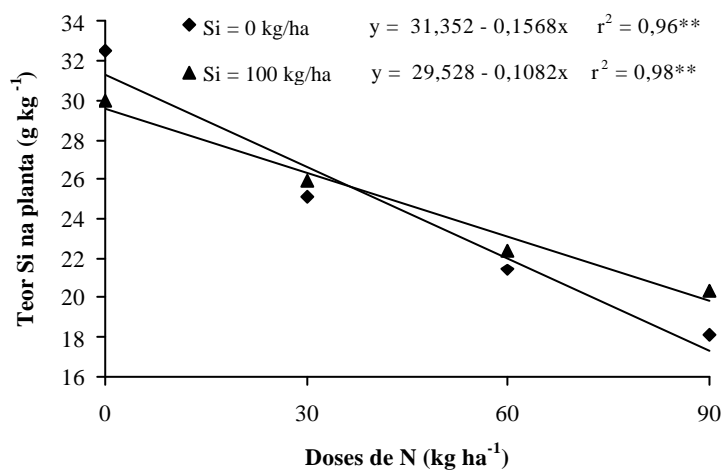


Figura 10. Teor de silício na planta em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Com relação ao teor de nitrogênio na folha bandeira, este foi influenciado pelas interações entre sistemas de cultivo e de silício (Tabela 10), sistemas de cultivo e doses de N (Figura 11) e entre silício e doses de N (Figura 12).

Analisando os resultados de sistemas de cultivo dentro de silício (Tabela 10), observou-se que o maior teor de N na folha bandeira com aplicação de 100 kg de Si ha⁻¹ foi obtido em condições de sequeiro. Nesse sistema, as plantas estão sujeitas à deficiência hídrica, a qual pode ter ocorrido durante a fase vegetativa, promovendo plantas menores, com área foliar e perfilhamento reduzidos, o que possivelmente refletiu numa maior concentração de N nas folhas.

Tabela 10. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao teor de nitrogênio na folha bandeira (g kg⁻¹).

Sistemas de cultivo	Teor de nitrogênio na folha bandeira (g kg ⁻¹)	
	Si - 0 (kg ha ⁻¹)	Si - 100 (kg ha ⁻¹)
Sequeiro	28,1 a A*	28,3 a A
Aspersão	27,4 a A	27,2 b A

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Houve aumento do teor de N na folha bandeira nos dois sistemas de cultivo em função da adubação nitrogenada, com os valores se ajustando a uma função quadrática e linear, em condições de sequeiro e de irrigação por aspersão, respectivamente (Figura 11). Sabe-se que a deficiência hídrica na cultura do arroz reduz a absorção de nutrientes (STONE, 1985), no entanto, tal fato não foi observado em condições de sequeiro.

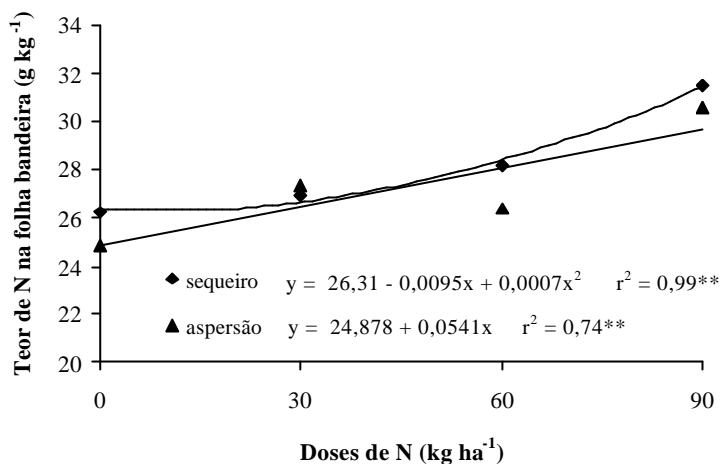


Figura 11. Teor de nitrogênio na folha bandeira em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Os valores de teor de nitrogênio na folha bandeira apresentaram aumento linear e quadrático, na ausência e presença de silício, respectivamente, em função das doses de N (Figura 12). Cabe ressaltar que os teores de nitrogênio encontrados na folha bandeira da planta de arroz foram considerados adequados (entre 27-35 g kg⁻¹), segundo Rajj et al. (1996).

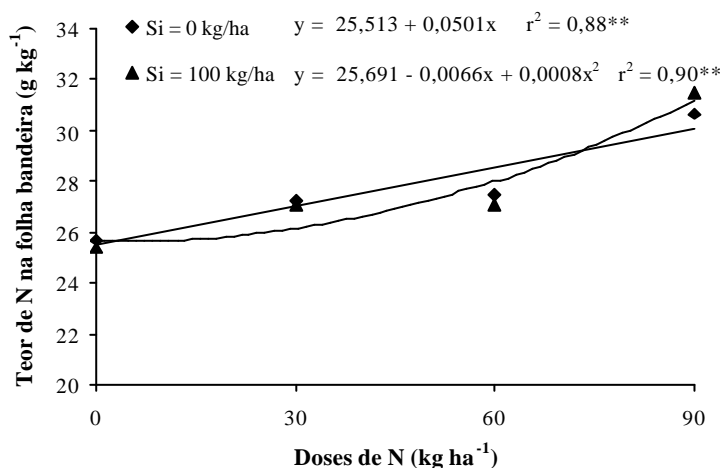


Figura 12. Teor de nitrogênio na folha em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

6.2 Características de importância agronômica

Os resultados obtidos na avaliação das características de importância agronômica estão apresentados nas Tabelas 11 a 19 e Figuras 13 a 35.

Com relação à altura da planta, houve efeito significativo de sistemas de cultivo (Tabela 11), de interações entre sistemas de cultivo e doses de N (Figura 13) e entre silício e doses de N (Figura 14).

Constatou-se maior altura quando a planta foi cultivada sob irrigação por aspersão (Tabela 11), visto que, nesse sistema de cultivo houve fornecimento adequado de água para o bom desenvolvimento da planta. Esse resultado também foi observado por vários autores (STONE et al., 1984a; CRUSCIOL et al., 1997a, 1997d, 1998; SORATTO et al., 2002).

Tabela 11. Valores médios¹ de altura da planta, número de colmos m⁻², fertilidade dos colmos e número de panículas m⁻² obtidos em arroz, cultivado no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão, com e sem aplicação de silício.

Tratamentos	Altura da planta (cm)	Número de colmos m ⁻²	Fertilidade dos colmos (%)	Número panículas m ⁻²
Sistemas de cultivo				
Sequeiro	104 b	196 a	90 a	176 a
Aspersão	110 a	194 a	92 a	179 a
Si (kg ha⁻¹)				
0	106 a	200 a	90 a	181 a
100	107 a	190 a	92 a	175 a
CV_{parcela} (%)	5,7	18,1	6,6	14,2
CV_{subparcela} (%)	3,6	11,8	4,3	12,4

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De maneira geral, observou-se que os valores de altura da planta apresentaram comportamento quadrático nos dois sistemas de cultivo, em relação à adubação nitrogenada (Figura 13), no entanto, o cultivo sob irrigação por aspersão proporcionou maior altura da planta. Nesse caso, a maior disponibilidade hídrica provavelmente contribuiu para a maior absorção do N, o que refletiu numa maior altura, já que este nutriente é o que mais afeta

a altura da planta (DINIZ, 1975; ARF, 1993).

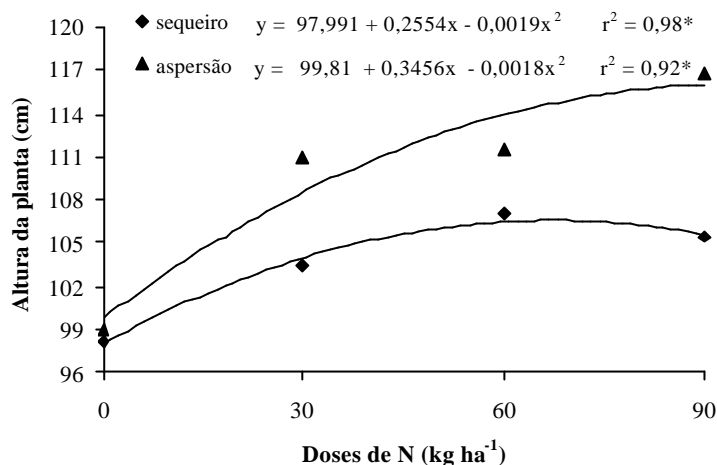


Figura 13. Altura da planta em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. * significativo a 5% de probabilidade.

Pela Figura 14, verificou-se que a altura da planta aumentou de forma linear com a adubação nitrogenada na ausência da aplicação de Si, visto que o N é o nutriente que mais afeta a altura da planta. Com a aplicação de silício, constatou-se que a altura da planta apresentou comportamento quadrático, em função das doses de N, ou seja, aumentou até 60 kg de N ha⁻¹, diminuindo na maior dose de N (Figura 14).

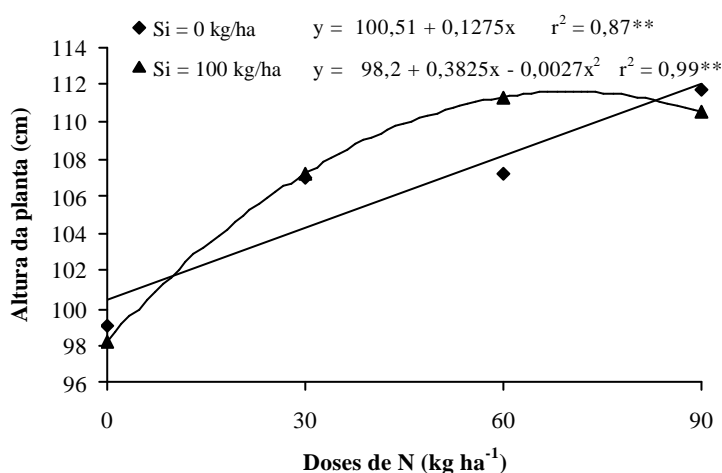


Figura 14. Altura da planta em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

No que se refere ao número de colmos m^{-2} houve interação entre sistemas de cultivo e silício (Tabela 12), entre sistemas de cultivo e doses de nitrogênio (Figura 15) e entre silício e doses de nitrogênio (Figura 16).

No desdobramento da interação Si dentro de sistemas de cultivo (Tabela 12), constatou-se efeito significativo para o cultivo irrigado por aspersão, que apresentou maior nº de colmos m^{-2} na ausência de aplicação de Si no solo. Nesse caso, a disponibilidade hídrica foi adequada para o perfilhamento das plantas.

Tabela 12. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao número de colmos por metro quadrado.

Sistemas de cultivo	Número de colmos m^{-2}	
	Si - 0 ($kg\ ha^{-1}$)	Si - 100 ($kg\ ha^{-1}$)
Sequeiro	196 a A*	196 a A
Aspersão	204 a A	184 a B

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Analisando a Figura 15, verificou-se aumento linear do número de colmos m^{-2} nos dois sistemas de cultivo, em função da adubação nitrogenada. Pelos resultados obtidos constatou-se que as condições de sequeiro não interferiram no perfilhamento da planta, uma vez que os tratamentos com e sem irrigação apresentaram comportamento semelhante, em função das doses de N, ou seja, os dados se ajustaram a uma função linear. Resultados semelhantes foram obtidos por Diniz (1975), Barbosa Filho (1987) e Fornasieri Filho e Fornasieri (1993) que obtiveram aumento do número de perfilhos com a adubação nitrogenada, tanto em cultivo de sequeiro quanto irrigado por aspersão.

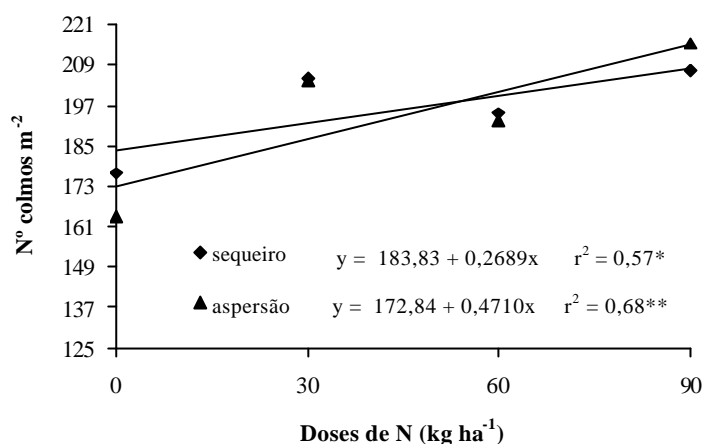


Figura 15. Número de colmos m^{-2} em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

O número de colmos m^{-2} aumentou linearmente em função das doses de N, na presença de aplicação de Si, evidenciando uma relação benéfica entre ambos. Não houve interação para esta variável na ausência de aplicação de Si (Figura 16).

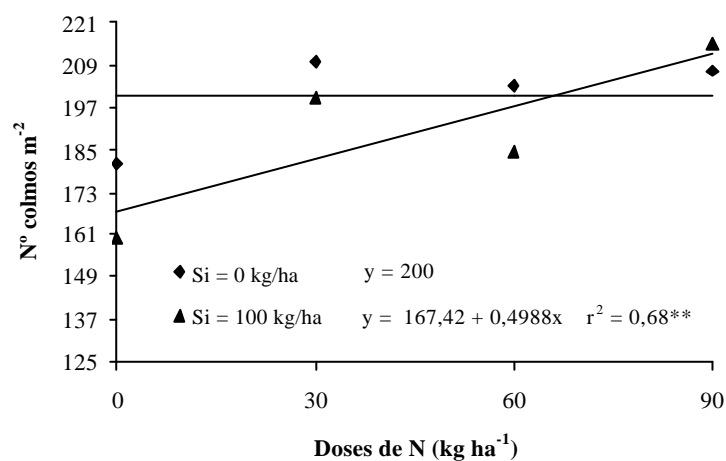


Figura 16. Número de colmos m^{-2} em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Com relação à fertilidade dos colmos, houve efeito da interação entre sistemas de cultivo e silício (Tabela 13). Analisando os resultados de Si dentro de sistemas de

cultivo, verificou-se efeito significativo para o sistema de sequeiro, que apresentou maior fertilidade dos colmos com aplicação de 100 kg de Si ha⁻¹. Esses resultados podem ser explicados, em parte, pelo maior número de colmos por área observado em condições de sequeiro (Figura 15) e na presença de Si (Figura 16), com o aumento das doses de N.

Tabela 13. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente à fertilidade dos colmos (%).

Sistemas de cultivo	Fertilidade dos colmos (%)	
	Si - 0 (kg ha ⁻¹)	Si - 100 (kg ha ⁻¹)
Sequeiro	88,6 a B*	91,9 a A
Aspersão	92,3 a A	92,5 a A

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Quanto ao número de panículas m⁻² constatou-se interação entre sistemas de cultivo e silício (Tabela 14), entre sistemas de cultivo e doses de nitrogênio (Figura 17) e entre silício e doses de nitrogênio (Figura 18).

No desdobramento da interação silício dentro de sistemas de cultivo (Tabela 14), observou-se efeito significativo para o cultivo irrigado por aspersão, o qual apresentou maior número de panículas m⁻² na ausência de aplicação de silício no solo. Sabe-se que o n° de panículas por área é definido no período compreendido entre a germinação até dez dias após a diferenciação do primórdio da panícula (FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993), estando relacionado diretamente com o número de colmos por área, portanto, é dependente de fatores genéticos e ambientais. Dessa forma, constatou-se que a disponibilidade hídrica foi adequada para o perfilhamento das plantas, proporcionando maior n° de colmos m⁻², assim como para a transformação de gemas vegetativas em reprodutivas, resultando num maior n° de panículas m⁻².

Tabela 14. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao número de panículas por metro quadrado.

Sistemas de cultivo	Número de panículas m ⁻²	
	Si - 0 (kg ha ⁻¹)	Si - 100 (kg ha ⁻¹)
Sequeiro	173 a A*	180 a A
Aspersão	188 a A	170 a B

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Analisando a Figura 17, constatou-se aumento do n° de panículas m⁻² com a adubação nitrogenada, nos dois sistemas de cultivo, sendo este aumento mais pronunciado em condições de irrigação por aspersão e em doses mais altas de N, em função do maior n° de colmos observado sob esse sistema (Figura 15).

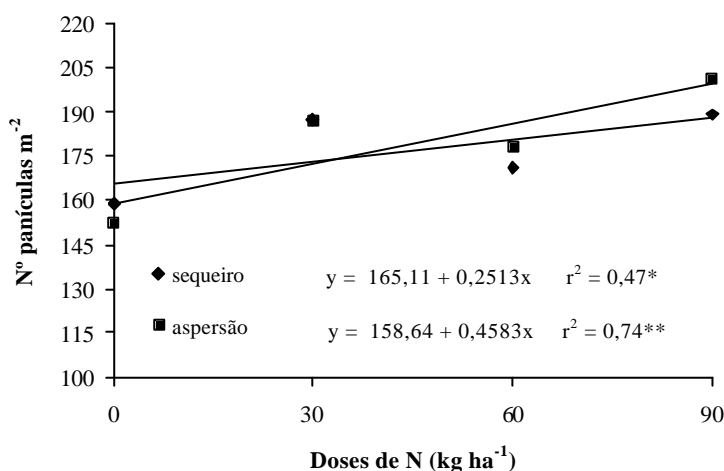


Figura 17. Número de panículas m⁻² em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

O número de panículas m⁻² é influenciado basicamente por fatores genéticos e por condições externas vigentes no estágio de perfilhamento ativo. Entretanto, condições externas adversas durante a diferenciação e o desenvolvimento inicial da panícula podem provocar degenerações, respectivamente do primórdio ou da panícula jovem (MACHADO, 1994). Assim, se a deficiência hídrica persistir até a transformação da gema vegetativa em reprodutiva, momento da passagem da fase vegetativa à fase reprodutiva, o

número de panículas por área é afetado (CRUSCIOL, 1998). Dessa forma, pode-se constatar que condições adequadas de disponibilidade hídrica (Figura 1), principalmente nas fases onde o número de panículas m^{-2} é definido, promove maior desenvolvimento de panículas por área.

O número de panículas m^{-2} aumentou linearmente com as doses de N, nos tratamentos com e sem aplicação de Si (Figura 18). Esse aumento é devido ao fato do N participar de funções estruturais na planta, como multiplicação e diferenciação celulares (MALAVOTA et al., 1997). Portanto, a adubação nitrogenada promoveu maior perfilhamento, favorecendo a transformação de uma maior quantidade de gemas vegetativas em reprodutivas, estes resultados estão de acordo com Barbosa Filho (1987 e 1991) e Fornasieri Filho e Fornasieri (1993).

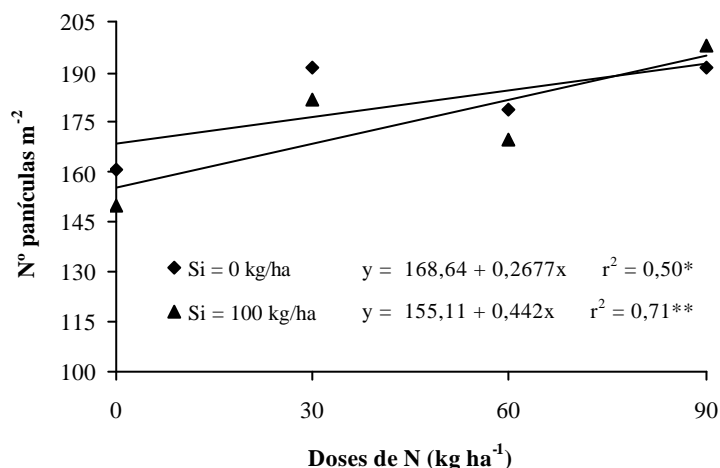


Figura 18. Número de panículas m^{-2} em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas, Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Com relação ao número total de espiguetas por panícula houve interação entre sistemas de cultivo e Si (Tabela 15), sistemas de cultivo e doses de N (Figura 19) e entre Si e doses de N (Figura 20).

No desdobramento da interação sistemas de cultivo dentro de Si (Tabela 15), o maior número de espiguetas por panícula no sistema irrigado por aspersão foi obtido com ausência de aplicação de Si no solo.

Tabela 15. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao número total de espiguetas por panícula.

Sistemas de cultivo	Número total de espiguetas por panícula	
	Si - 0 (kg ha ⁻¹)	Si - 100 (kg ha ⁻¹)
Sequeiro	193 b A*	199 a A
Aspersão	205 a A	195 a A

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Com os resultados da interação entre sistemas de cultivo e doses de N (Figura 19), verificou-se aumento linear do número de espiguetas por panícula nos dois sistemas de cultivo, em função da adubação nitrogenada. O número total de espiguetas por panícula começa a ser definido desde a diferenciação do primórdio da panícula até o emborrachamento (FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; MACHADO, 1994). Esse componente da produção depende do comprimento da ráquis, do número de ramificações da ráquis e dos pontos de diferenciação de espiguetas nas ramificações, além de ser influenciado pela densidade de semeadura, adubação nitrogenada, radiação solar, disponibilidade hídrica, temperatura e cultivar. Dessa forma, os processos de diferenciação e degeneração são extremamente sensíveis a níveis crescentes de N (MACHADO, 1994), o que provavelmente propiciou maior número de espiguetas por panícula, visto que este nutriente tem função estrutural na planta, participando de processos de multiplicação e divisão celulares.

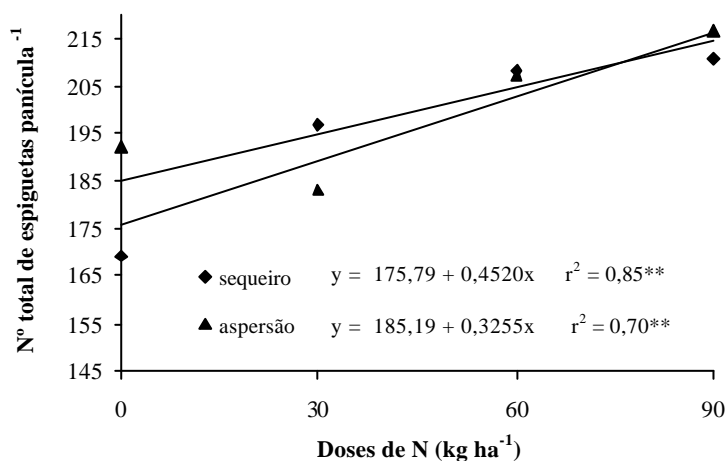


Figura 19. Número total de espiguetas por panícula em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

O número total de espiguetas por panícula apresentou aumento linear na presença e ausência de Si, em função da adubação nitrogenada (Figura 20). No entanto, com aplicação de 100 kg de Si ha⁻¹, a maior dose de N proporcionou maior número de espiguetas por panícula.

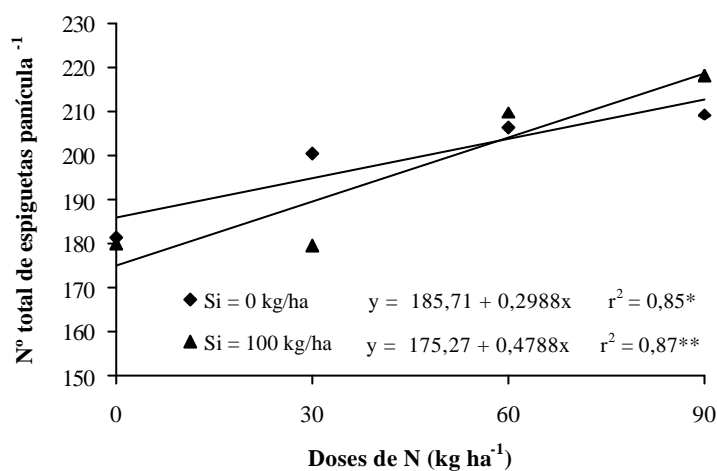


Figura 20. Número total de espiguetas por panícula em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Quanto aos resultados de fertilidade das espiguetas houve interação entre sistemas de cultivo e doses de N (Figura 21) e entre silício e doses de N (Figura 22).

A fertilidade das espiguetas foi significativamente reduzida em condições de sequeiro com o aumento das doses de N (Figura 21). Fato também observado por Costa et al. (2002). No entanto, para o sistema irrigado por aspersão não houve efeito significativo das doses de N, onde a disponibilidade hídrica pode ter favorecido o enchimento dos grãos.

Esse componente da produção é dependente da meiose do grão de pólen (microsporogênese), da antese (abertura das anteras), polinização, fertilização e do início da fase de maturação, ou seja, quando se inicia a translocação de carboidratos. A fertilidade de espiguetas é a relação entre o número de espiguetas granadas e o número total de espiguetas. É influenciada por condições adversas ocorrentes no desenvolvimento dos estádios citados, ou seja, principalmente em torno de 10 dias antes e após o florescimento

(MACHADO, 1994). As condições adversas que afetam este componente são doses excessivas de adubo nitrogenado, cultivo em solos salinos e condições climáticas desfavoráveis (YOSHIDA e PARAO, 1976). Dessa forma, a redução da fertilidade das espiguetas pode estar relacionada com o maior nº de colmos m^{-2} (Figura 15) e nº de panículas m^{-2} (Figura 17) proporcionado pelo nitrogênio. Nesse caso, o maior perfilhamento pode ter promovido sombreamento das plantas reduzindo a área fotossinteticamente ativa, e dessa forma, diminuiu a produção de assimilados que seriam encaminhados para os grãos, elevando o número de espiguetas chochas e conseqüentemente reduzindo a fertilidade das espiguetas.

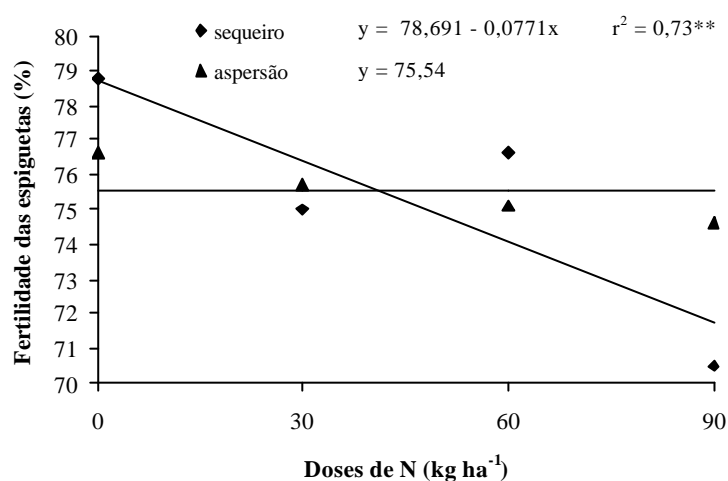


Figura 21. Fertilidade das espiguetas em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 1% de probabilidade.

Observou-se redução da fertilidade das espiguetas com e sem aplicação de Si, com o aumento das doses de N, sendo que com aplicação de 100 kg de Si ha^{-1} a redução foi mais pronunciada (Figura 22).

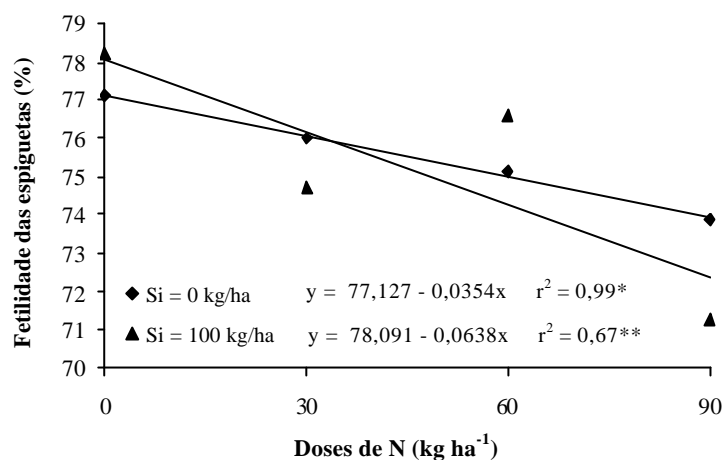


Figura 22. Fertilidade das espiguetas em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Com relação ao número de espiguetas granadas por panícula houve efeito de sistemas de cultivo (Tabela 16) e de interações entre sistemas de cultivo e silício (Tabela 17), entre sistemas de cultivo e doses de nitrogênio (Figura 23) e entre silício e doses de nitrogênio (Figura 24). Constatou-se maior número de espiguetas granadas por panícula no cultivo irrigado por aspersão (Tabela 16).

Tabela 16. Valores médios¹ de número total de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas, número de espiguetas granadas e chochas por panícula obtidos em arroz, cultivado no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão, com e sem aplicação de silício.

Tratamentos	Nº total de espiguetas panícula ⁻¹	Fertilidade das espiguetas (%)	Nº de espiguetas granadas panícula ⁻¹	Nº de espiguetas chochas panícula ⁻¹
Sistemas de cultivo				
Sequeiro	196 a	75 a	147 b	49 a
Aspersão	200 a	76 a	151 a	49 a
Si (kg ha⁻¹)				
0	199 a	76 a	150 a	49 a
100	197 a	75 a	148 a	49 a
CV_{parcela} (%)	3,8	3,8	2,5	11,4
CV_{subparcela} (%)	10,9	4,0	12,2	13,9

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No desdobramento da interação sistema de cultivo dentro de silício, o maior número de espiguetas granadas na ausência de aplicação de Si foi obtido no sistema irrigado por aspersão (Tabela 17).

Tabela 17. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente ao número de espiguetas granadas por panícula.

Sistemas de cultivo	Número de espiguetas granadas por panícula	
	Si - 0 (kg ha ⁻¹)	Si - 100 (kg ha ⁻¹)
Sequeiro	146 b A*	149 a A
Aspersão	155 a A	147 a A

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O número de espiguetas granadas por panícula em condições de sequeiro aumentou de forma quadrática até 60 kg N ha⁻¹, sendo observado decréscimo na maior dose. Essa redução pode ter ocorrido em função do sombreamento das plantas promovido pelo N, o que possivelmente acarretou menor produção de assimilados. Com relação ao cultivo irrigado por aspersão houve aumento linear do número de espiguetas granadas por panícula (Figura 23), o que pode ser explicado pelo processo contínuo de enchimento das espiguetas.

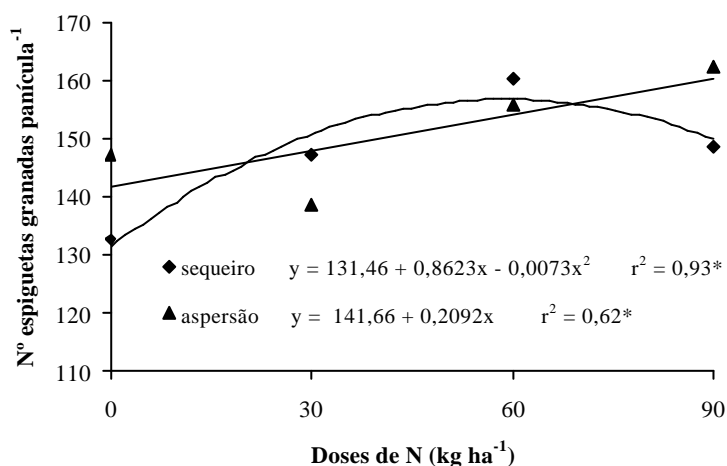


Figura 23. Número de espiguetas granadas por panícula em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.

* significativo a 5% de probabilidade.

Houve aumento linear do número de espiguetas granadas por panícula, quando aplicado 100 kg de Si ha⁻¹, em função da adubação nitrogenada (Figura 24). O Si pode ter promovido uma melhor arquitetura da planta, permitindo maior penetração da luz solar e maior absorção de CO₂, o que incrementou a taxa fotossintética, aumentando a translocação de assimilados para os grãos, e com isso, o número espiguetas granadas por panícula. Não foi observado efeito das doses de N na ausência de aplicação de Si.

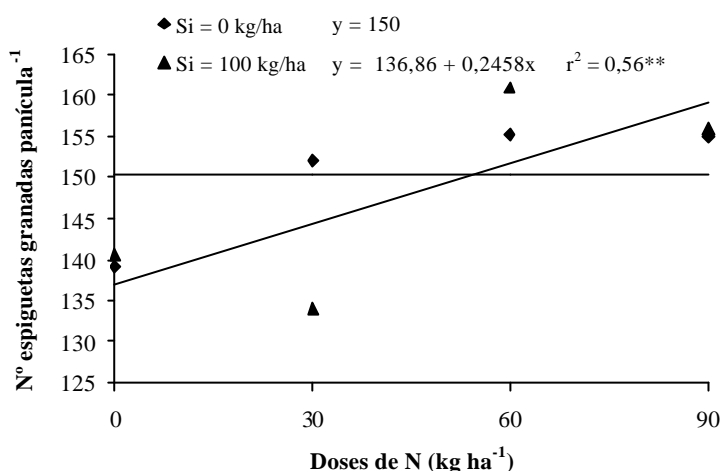


Figura 24. Número de espiguetas granadas por panícula em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Quanto ao número de espiguetas chochas por panícula, houve efeito significativo das interações entre sistema de cultivo e doses de N (Figura 25) e entre silício e doses de N (Figura 26).

O número de espiguetas chochas por panícula aumentou linearmente nos dois sistemas de cultivo, em função da adubação nitrogenada, sendo esse aumento mais pronunciado em condições de sequeiro (Figura 25). Esse resultado pode ter ocorrido devido ao maior perfilhamento da planta, o qual diminuiu a produção de assimilados e reduziu a translocação para os grãos.

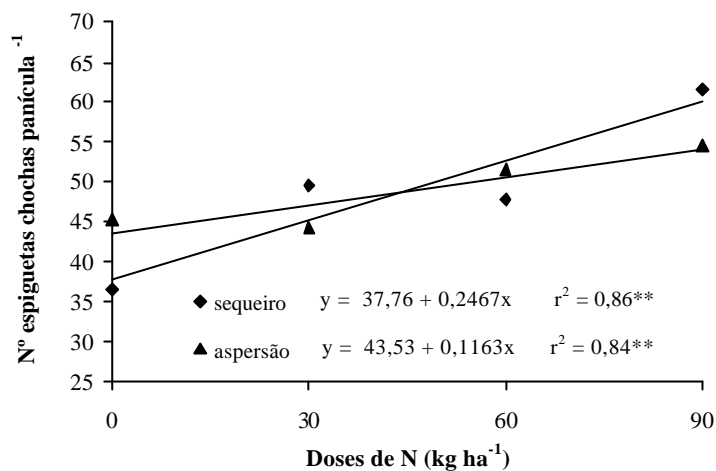


Figura 25. Número de espiguetas chochas por panícula em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03.

** significativo a 1% de probabilidade.

O número de espiguetas chochas por panícula aumentou em função das doses de N, com e sem aplicação de silício. No entanto, quando aplicado 100 kg de Si ha⁻¹, o número de espiguetas chochas por panícula foi maior (Figura 26), isso pode ter ocorrido em função da menor fertilidade das espiguetas observada nas mesmas condições (Figura 22).

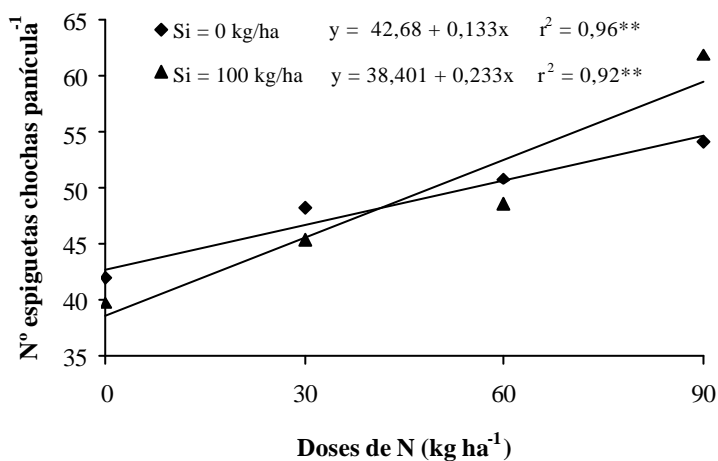


Figura 26. Número de espiguetas chochas por panícula em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

No que se refere à massa de 100 grãos houve interação entre sistemas de cultivo e silício (Tabela 18), entre sistemas de cultivo e doses de nitrogênio (Figura 27) e entre silício e doses de nitrogênio (Figura 28).

Analisando os resultados de Si dentro de sistemas de cultivo (Tabela 18), observou-se efeito significativo para o sistema de sequeiro, que apresentou maior massa de grãos na ausência de aplicação de Si no solo. Já no desdobramento sistemas de cultivo dentro de silício, a maior massa de grãos com aplicação de 100 kg de Si ha⁻¹ foi no sistema irrigado por aspersão, o qual provavelmente contribuiu para maior absorção e conseqüentemente, acúmulo do elemento na planta. Assim, apesar de não ter sido analisada a deposição de Si na casca dos grãos de arroz, o que provavelmente pode ter contribuído para o aumento da massa de grãos em função da presença de Si, foi a maior deposição do elemento na lema e pálea, conforme relatado por Balasta (1989). Essa deposição de Si é atribuída à grande transpiração da panícula na fase de enchimento do grão, visto que os processos de transporte e acúmulo do silício nos tecidos vegetais dependem da taxa de transpiração dos diferentes órgãos da planta (YOSHIDA, 1962). Com este órgão em desenvolvimento, a transpiração tende a ser maior e conseqüentemente a deposição de Si pode ter sido maior, influenciando na massa de grãos. Esse resultado concorda com os encontrados por Balasta (1989); Carvalho (2000) e Mauad et al. (2003a).

Tabela 18. Desdobramento das interações significativas da análise de variância referente à massa de 100 grãos (g).

Sistemas de cultivo	Massa de 100 grãos (g)	
	Si - 0 (kg ha ⁻¹)	Si - 100 (kg ha ⁻¹)
Sequeiro	2,4 a A *	2,3 b B
Aspersão	2,4 a A	2,4 a A

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A massa de grãos é uma característica varietal que depende do tamanho da casca, determinada duas semanas que antecedem a antese (YOSHIDA, 1981), e do desenvolvimento da cariopse após florescimento (MATSUSHIMA, 1970), portanto dependem das translocações de carboidratos nos primeiro sete dias para preencher a casca no sentido do seu comprimento e nos sete dias posteriores na largura e espessura (MACHADO, 1994).

Os valores da massa de 100 grãos se ajustaram a uma função quadrática e linear para os sistemas de sequeiro e irrigado por aspersão, respectivamente, diminuindo com o aumento das doses de N. No entanto, a condição de sequeiro proporcionou menor massa de 100 grãos com a adubação nitrogenada (Figura 27), o que pode ser devido à quantidade de carboidratos não ter sido suficiente para o enchimento de um maior número de espiguetas produzidas (Figura 19). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Soratto et al. (2002) e Pinheiro et al. (1985) que também observaram menor massa de 100 grãos na ausência de irrigação.

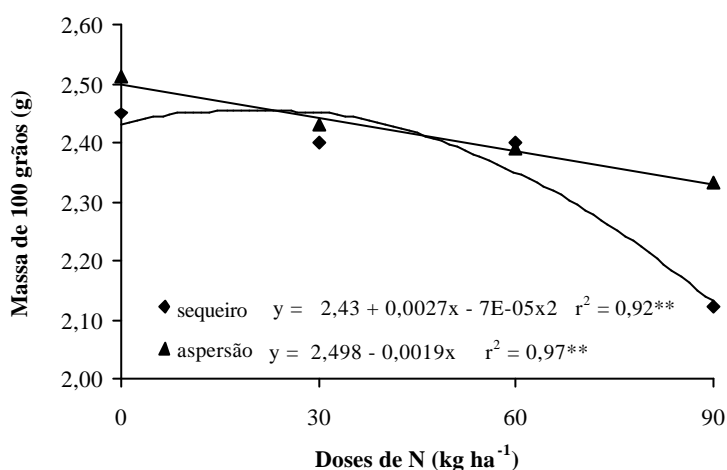


Figura 27. Massa de 100 grãos em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Houve redução na massa de 100 grãos com o aumento das doses de nitrogênio, tanto na presença como na ausência de silício. Os dados se ajustaram a uma função linear quando não se aplicou silício e quadrática com aplicação de 100 kg Si ha⁻¹ (Figura 28).

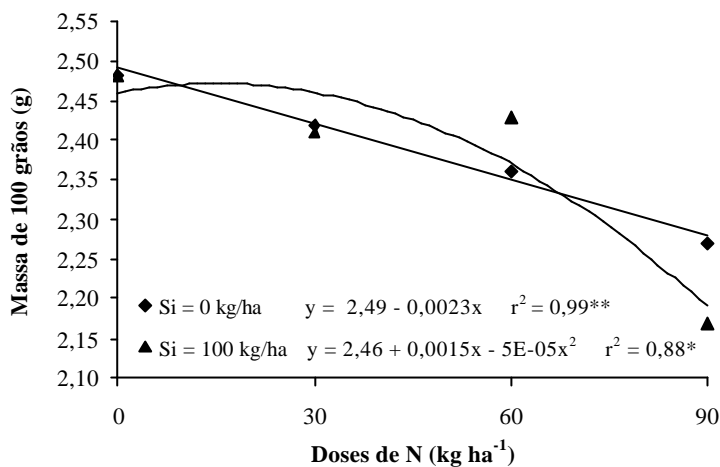


Figura 28. Massa de 100 grãos em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Com relação à produtividade de grãos houve efeito significativo de sistemas de cultivo (Tabela 19) e de interações entre sistemas de cultivo e doses de nitrogênio (Figura 29) e entre silício e doses de nitrogênio (Figura 30).

A produtividade de grãos foi maior no cultivo irrigado por aspersão, do que no sistema de sequeiro (Tabela 19).

Tabela 19. Valores médios¹ de massa de 100 grãos, produtividade de grãos e rendimento de engenho obtidos em arroz, cultivado no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão, com e sem aplicação de silício.

Tratamentos	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Rendimento de engenho (%)		
			Rendimento de inteiros	Rendimento de quebrados	Grãos quebrados
Sistemas de cultivo					
Sequeiro	2,3 a	2593 b	74a	60 a	14 a
Aspersão	2,4 a	3398 a	74 a	63 a	11 a
Si (kg ha⁻¹)					
0	2,4 a	3030 a	74 a	62 a	12 a
100	2,4 a	2960 a	73 b	61 a	12 a
CV_{parcela} (%)	5,1	14,4	1,6	7,7	21,0
CV_{subparcela} (%)	4,1	14,7	1,7	4,4	11,9

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Observou-se que a produtividade de grãos foi significativamente maior sob sistema irrigado por aspersão, em função das doses de nitrogênio, com os dados se ajustando a uma função linear. No sistema de sequeiro, a máxima produtividade foi obtida com aplicação de 37 kg de N ha⁻¹, ocorrendo diminuição a partir desta (Figura 29). A maior dose de N pode ter estimulado o perfilhamento e a formação de novas folhas propiciando sombreamento mútuo das plantas, redução da área fotossinteticamente ativa e decréscimo da produtividade.

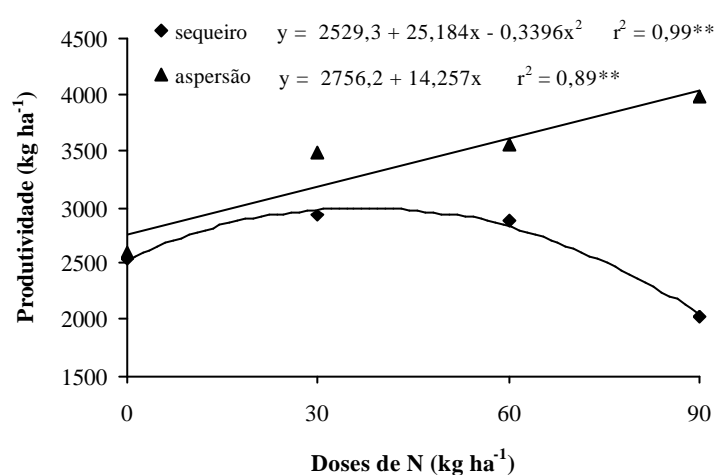


Figura 29. Produtividade em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Os valores de produtividade em relação às doses de nitrogênio, na presença e ausência de silício, apresentaram comportamento quadrático (Figura 30). Não houve efeito do Si sobre a produtividade provavelmente devido à ausência de ocorrência de doenças e aos teores altos de Si encontrados nas plantas.

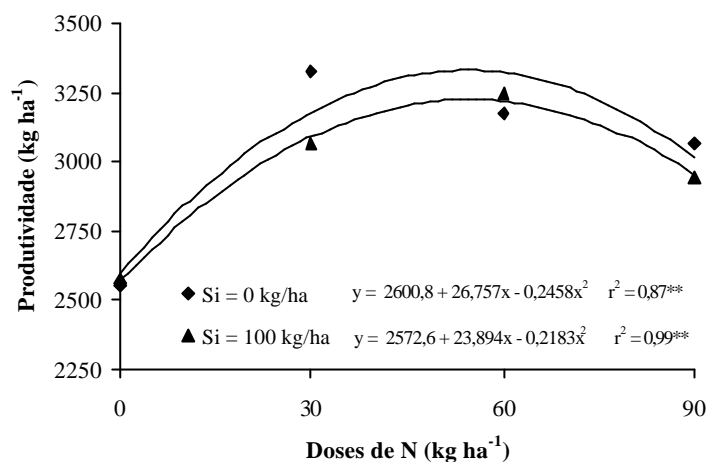


Figura 30. Produtividade em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Com relação ao rendimento de engenho, este foi influenciado pela aplicação de silício, sendo observado maior rendimento na ausência de aplicação do elemento (Tabela 19). Esta variável também foi influenciada pela interação entre sistemas de cultivo e doses de N (Figura 31), onde os valores de rendimento, em condições de sequeiro, se ajustaram a uma função quadrática, sendo constatado maior rendimento na dose calculada de 41,5 kg de N ha⁻¹, ocorrendo diminuição a partir desta. Em condições de irrigação por aspersão, não houve efeito significativo das doses de N sobre o rendimento de engenho.

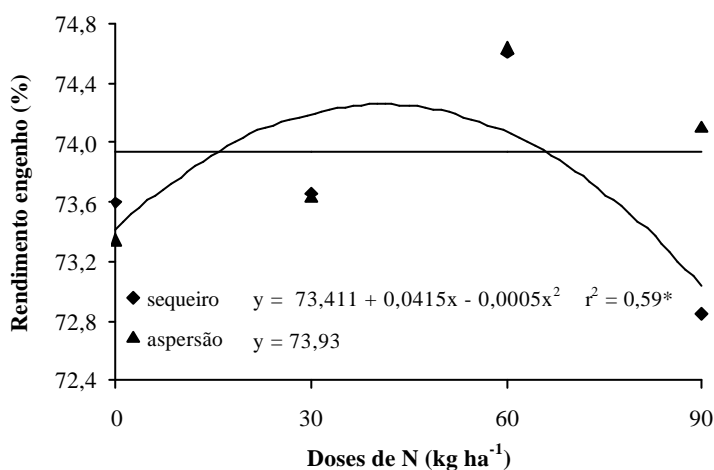


Figura 31. Rendimento de engenho em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. * significativo a 5% de probabilidade.

O rendimento de inteiros significa a quantidade de grãos inteiros obtida após o beneficiamento industrial e é um dos parâmetros mais importantes para determinar o valor de comercialização do arroz (OLIVEIRA et al., 1998).

Para o rendimento de inteiros houve interação entre sistemas de cultivo e doses de N (Figura 32) e entre silício e doses de N (Figura 33).

Em condições de sequeiro, houve aumento do rendimento de inteiros até a dose calculada de 29 kg de N ha⁻¹, ocorrendo redução a partir desta. Não houve efeito significativo dos tratamentos, para o rendimento de inteiros, quando a cultura foi irrigada por aspersão. No entanto, os valores encontrados neste sistema de cultivo foram superiores aos obtidos no sistema de sequeiro (Figura 32). Constatou-se que independente do sistema de cultivo, os valores obtidos de rendimento de inteiros foram altos e normais para o cultivar Primavera (47%), demonstrando a excelente qualidade do produto final. Esses resultados evidenciam a importância de adequada quantidade de água no solo para uma boa formação dos grãos. A disponibilidade adequada de água favorece a translocação de carboidratos para os grãos. Dessa forma, grãos bem formados apresentam maior resistência a choques e vibrações proporcionadas pela colheita e pelo beneficiamento, assim, obtém-se maior rendimento de inteiros (ARF et al., 2002).

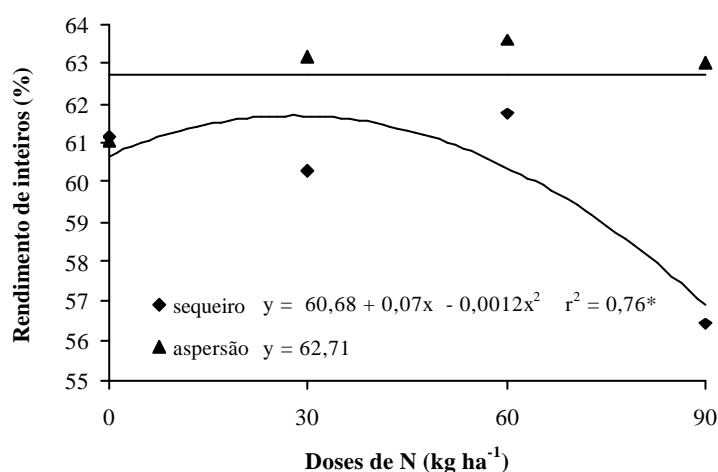


Figura 32. Rendimento de inteiros em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. * significativo a 5% de probabilidade.

Pela Figura 33, constatou-se que os valores de rendimento de inteiros aumentaram até a dose calculada até 44 kg de N ha⁻¹, diminuindo a partir desta, onde não houve aplicação de Si. Não houve efeito significativo da adubação nitrogenada para o rendimento de inteiros quando aplicado 100 kg de Si ha⁻¹.

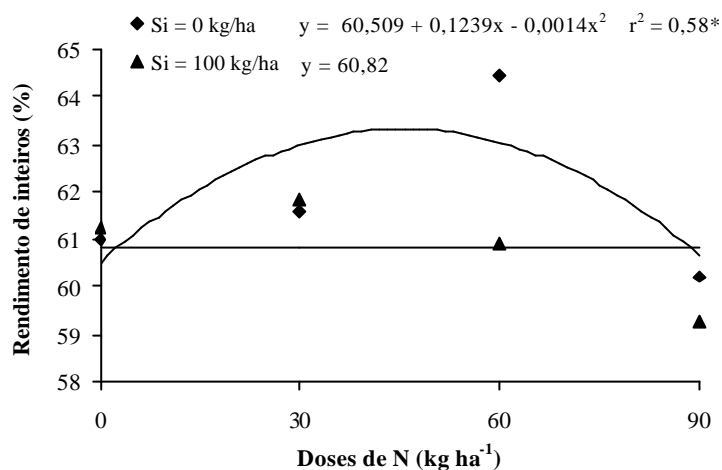


Figura 33. Rendimento de inteiros em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. * significativo a 5% de probabilidade.

Com relação aos grãos quebrados, houve efeito das interações entre sistemas de cultivo e doses de N (Figura 34) e entre silício e doses de N (Figura 35).

A porcentagem de grãos quebrados foi significativamente maior em condições de sequeiro com o aumento da adubação nitrogenada, atingindo 16,4% na dose de 90 kg de N ha⁻¹ (Figura 34).

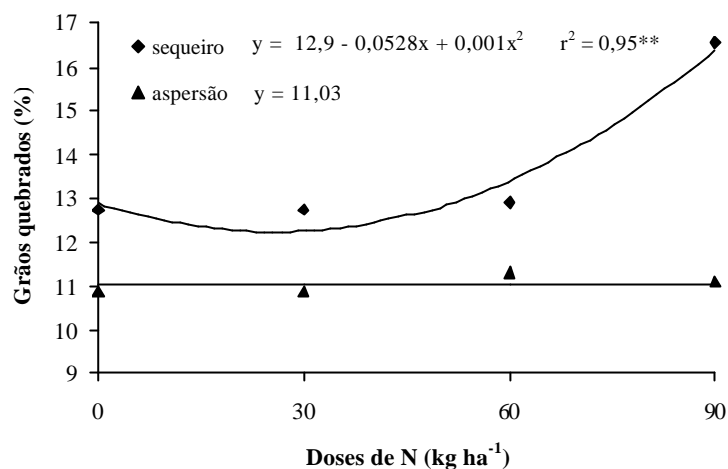


Figura 34. Grãos quebrados em função dos sistemas de cultivo e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. ** significativo a 1% de probabilidade.

Houve aumento linear na porcentagem de grãos quebrados com o aumento das doses de N, quando aplicado 100 kg Si ha⁻¹ (Figura 35).

A presença de grãos quebrados em um lote de arroz é uma característica indesejável, pois diminui a qualidade e o valor comercial do produto. Além da redução do valor econômico, pode ocorrer também, a diminuição da quantidade total de grãos descascados, ou seja, o rendimento de engenho, pois a fração de grãos pode ser eliminada com as cascas (CRUSCIOL et al., 1999).

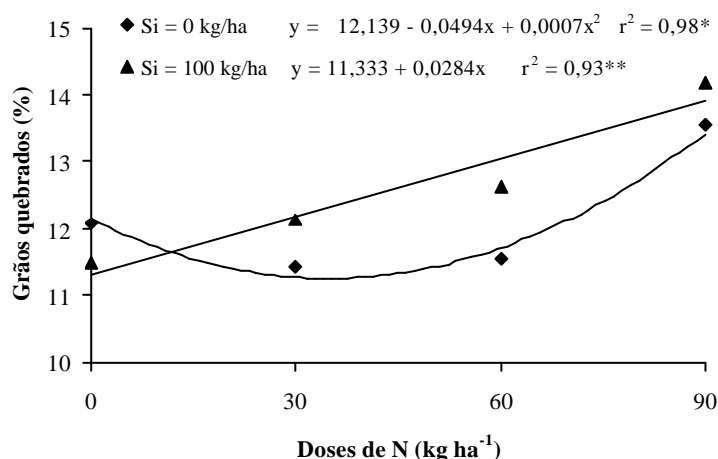


Figura 35. Grãos quebrados em função da presença e ausência de silício e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Selvíria-MS, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

7 CONCLUSÕES

A aplicação de silicato de Ca e Mg no sulco de semeadura não interferiu no desenvolvimento das plantas, demonstrando que não há efeito prejudicial às sementes quando estão em contato direto com o silicato.

Os componentes da produção e a produtividade de grãos não foram influenciados pela aplicação de silício no sulco de semeadura.

A irrigação por aspersão aumentou a altura da planta, o número de espiguetas granadas por panícula e a produtividade de grãos;

A adubação nitrogenada em cobertura aumentou o número de panículas m^{-2} e o número de espiguetas por panícula, e reduziu a fertilidade das espiguetas e a massa de 100 grãos.

Em razão da maior disponibilidade hídrica proporcionada pelo sistema de cultivo irrigado por aspersão, a produtividade de grãos aumentou linearmente com a adubação nitrogenada, enquanto no cultivo de sequeiro houve resposta até $37 \text{ kg de N ha}^{-1}$.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P. T. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Prod. Science**, v. 1, p. 89-95, 1998.

ARF, O. **Efeitos de densidades populacionais e adubação nitrogenada sobre o comportamento de cultivares de arroz irrigado por aspersão**. Ilha Solteira, 1993. 63 p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 1993.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; CRUSCIOL, C. A. C.; PEREIRA, J. C. R. Preparo do solo, irrigação por aspersão e rendimento de engenho do arroz de terras altas. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 2, p. 321-326, abr/jun. 2002.

AUGUSTO, G. S.; SILVA, J. G. F. **Manejo de irrigação para as culturas de feijão, milho e arroz de sequeiro favorecido**. Vitória: ENCAPA, 1990. 29 p. (Documento 64).

BALASTA, M. L. F.; PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O.; VILLREAL, C. P. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, p. 2356-2363, 1989.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 127 p.

¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT – NBR-6023 – Informação e Documentação – Referências - Elaboração atualizada. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

BARBOSA FILHO, M. P. Adubação do arroz de sequeiro. **Informe Agropecuário**, n. 14, p. 32-38, 1991.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informações Agronômicas**, n. 89, p. 1-8, 2000 (Encarte técnico).

BRESEGHELLO, F., CASTRO, E. M., MORAIS, O. P. Cultivares de arroz. In: BRESEGHELLO, F. STONE, L. F. **Tecnologia para arroz para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998, p. 41-53.

BRUNINI, O. **Relações solo-água-plantas em cultura de arroz em condições de sequeiro**. Piracicaba, 1975, 128 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, 1975.

CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; CORRÊA, G. F. Características físicas e disponibilidade de silício em solo sob vegetação de cerrado. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

CARVALHO, J. C. **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**. Botucatu, 2000, 119 p. Dissertação – (Mestrado em Agronomia - Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

COELHO, M. B. **Efeito da água disponível no solo e de níveis de nitrogênio, sobre duas variedades de arroz**. Viçosa, 1976, 42 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1976.

COSTA, A. M.; ESTEVES, J. A. F.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade do arroz de sequeiro em função da adubação nitrogenada em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 591-593.

CRUSCIOL, C. A. C. **Espaçamento e densidade de semeadura do arroz, cv. IAC 201, sob condições de sequeiro e irrigado por aspersão**. Botucatu, 1995, 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1995.

CRUSCIOL, C. A. C., MACHADO, J. R., ARF, O., RODRIGUES, R. A. F. Desenvolvimento das plantas de arroz irrigado por aspersão em função do manejo da água. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1997a, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú, 1997a, p. 262-264.

CRUSCIOL, C. A. C., MACHADO, J. R., ARF, O., RODRIGUES, R. A. F. Produtividade de arroz cv. IAC 201 em função de níveis de água e do espaçamento entre fileiras sob irrigação por aspersão. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1997b, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú, 1997b, p. 269-271.

CRUSCIOL, C. A. C.; MACHADO, J. R.; ARF, O., RODRIGUES, R. A. F. Manejo da água em arroz irrigado por aspersão: fenologia da planta, componentes da produção e produtividade de grãos. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1997c, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú, 1997c, p. 259-261.

CRUSCIOL, C. A. C., MACHADO, J. R., ARF, O., RODRIGUES, R. A. F. Absorção e exportação de nutrientes pelo arroz irrigado por aspersão em função do manejo de água. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1997d, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú, 1997d, p. 265-267.

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

CRUSCIOL, C. A. C.; MACHADO, J. R.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Rendimento de benefício e de grãos inteiros em função do espaçamento e da densidade de semeadura do arroz de sequeiro. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 2, p. 47-52, 1999.

DATNOFF, L. E.; RAID, R.N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Evaluation of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, and sheath blight development on rice. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, n. 5, p. 65, 1990.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yield of rice. **Plant Disease**, v. 74, p. 729-732, 1991.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; ZINDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, v. 34, p. 733-737, 1994.

DINIZ, J. A.; BRANDÃO, S. S.; GIÚDICE, R. M.; SEDIYAMA, C. S.; LOUREIRO, B. T. Comportamento de variedades de arroz em terras altas, sob regime de irrigação por aspersão em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Experientiae**, Viçosa, v. 22, p. 235-262, 1976.

DONALD, C. M.; HABLIM, J. The biological yield and harvest index of cereais as agronomic and plant breeding criteria. **Advances Agronomy**, v. 28, p. 361-405, 1976.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPSO, 1999. 412 p.

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

FAGERIA, N. K., WILCOX, G. E. Influência de nitrogênio e fósforo no crescimento do arroz. **Lavoura Arrozeira**, n. 30, p. 24-8, 1977.

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

SANTOS, G. R.; FONSECA, D. P.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S.; PEREIRA, A. C.; UITDEWILLIGEN, G. S. Efeito do silício no controle das principais doenças do arroz irrigado no Estado do Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

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

GIÚDICE, R. M.; BRANDÃO, S. S.; GALVÃO, J. D.; GOMES, F. R. Irrigação ϕ arroz por aspersão: profundidade de rega e limites de água disponível. **Experimentiae**, v. 18, n. 5, p. 103-123, 1974.

GIÚDICE, R. M. et al. Nutrição mineral e adubação do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 5, n. 55, p. 40-50, 1979.

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

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by plant. **Plant and Soil**, v. 23, p. 79-95, 1965.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, n. 70, p. 1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G. H., COELHO, N. M., SNYDER, G. H., MYZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, v. 1, p. 101-106. 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, M.; POWELL, G.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 7, p. 1071-1084, 2001.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2002a. 23 p. (Boletim Técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; FARIA, R. J.; DATNOFF, L. E.; PEREIRA, L. E. Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002b. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

KUNZ, J. H.; CARLESSO, R.; DA ROSA, G. M.; GARCIA, C. G., PETRY, M. T.; MELO, G. L. Adubação nitrogenada do arroz de sequeiro irrigado por aspersão no RS. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações agronômicas**, n 87, p. 1-7, 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, J. R. **Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de populações de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação em função de épocas de cultivo**. Botucatu, 1994. 237 p. Tese (Livre docência) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1994.

MAE, T. Partitioning and utilization of nitrogen in rice plants. **JARQ**, Japão, v. 20, n. 2, p. 115-120, 1986.

MALAVOLTA, E.; FERNANDES FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (eds.). **Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 1983. p. 95-140.

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

MATOH, T.; MURATA, S.; TAKAHASHI, E. Effect of silicat application on photosynthesis of rice plants. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 63, n. 3, p. 248-251, 1991.

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

MAUAD, M. **Produção de plantas de arroz sob a ação de silício e nitrogênio**. Botucatu, 2001, 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001.

MAUAD, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; GRAS, FILHO, H.; CORRÊA, J. C. Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. **Scientia Agrícola**, v. 60, n. 4, p. 761-765, 2003a.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 867-873, 2003b.

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

MICHELON, J. C.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; FIORIN, T. T.; DE BONA, F. D.; MELO, G. L.; KUNZ, J. H. Influência da adubação nitrogenada no rendimento e componentes do rendimento do arroz de sequeiro irrigado por aspersão no RS. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 31, p. 625-636, 1985.

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

OLIVEIRA, G. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F. Efeito de espaçamentos e densidades de semeadura sobre o desenvolvimento de cultivares de arroz de sequeiro irrigado por aspersão. II. Componentes do rendimento de engenho. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 6., Goiânia, 1998. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1998. p. 49-52.

PANDE, H. K.; SINGH, P. Water and fertility management of rice varieties under low atmospheric, evaporative demand. **Journal Agriculture Science**, v. 1, n. 75, p. 61-67, 1970.

PINHEIRO, B. S.; MARTINS, J. F. S.; ZIMMERMANN, F. J. P. Índice de área foliare produtividade do arroz de sequeiro. II. Manifestações através dos componentes da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 25, p. 873-879, 1990.

PINHEIRO, B. S.; STEINMETZ, S.; STONE, L. F., GUIMARÃES, E. P. Tipo de planta, regime hídrico e produtividade do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 20, n. 1, p. 85-87, 1985.

PRABHU, A. S., FILIPPI, M. C., ZIMMERMANN, F. J. P. Genetic control of blast in relation to nitrogen fertilization in upland rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 5, p. 339-347, 1996.

RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo – Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAIJ, B., QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim técnico, 81).

RAMIG, R. E.; RHOADES, H. F. Interrelations hips of soil moisture level at planting time and nitrogen fertilization on winter wheat production. **Agronomy Journal**, v. 55, p. 123-127, 1963.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 58, p. 179-207, 1983.

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**. Botucatu, 1998, 75 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista, 1998.

RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O. Manejo de água em cultivares de arroz de terras altas. II. Componentes de produção e produtividade. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 365-368.

SANT'ANA, E. P. Cultivo de arroz irrigado por aspersão. **Informe Agropecuário**, v. 14, n. 1, p. 71-76, 1989.

SANTOS, A. B., PRABHU, A. S., AQUINO, A. S., AQUINO, A. R. L., CARVALHO, J. R. P. Épocas, modos de aplicação e níveis de nitrogênio sobre brusone e produção de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 7, p. 697-707, 1986.

SARRUGE, J. R., HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 54 p.

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

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

SORATTO, R. P.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O. Manejo de água em cultivares de arroz irrigados por aspersão no sistema de plantio direto. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 369-372.

STONE, L. F.; OLIVEIRA, A. B.; STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 14, p. 295-301, 1979a.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; OLIVEIRA, A. B.; AQUINO, A. R. L. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 14, p. 105-109, 1979b.

STONE, L. F. **Produtividade e utilização do nitrogênio pelo arroz (*Oryza sativa* L.); efeitos da deficiência hídrica, cultivares e vermiculita** Piracicaba, 1983, 200 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, 1983.

STONE, L. F.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 695-707, 1984a.

STONE, L. F.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. II. Efeito na utilização do nitrogênio pelo arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1403-1416, 1984b.

STONE, L. F. Absorção de P, K, Mg, Ca e S por arroz, influenciada pela deficiência, vermiculita e cultivar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 1251-1258, 1985.

STONE, L. F.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Produtividade do arroz e absorção de nitrogênio afetadas pelo veranico e pela adição de vermiculita ao solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, p. 117-125, 1986.

STONE, L. F.; SILVA, J. G. Resposta do arroz de sequeiro à profundidade de aração, adubação nitrogenada e condições hídricas do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 891-897, jun. 1998.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of rice plant physiology**. Tokio: Nobunkyo, v. 2, cap. 5, 1995. p. 420-433.

VIEIRA, N. R. A.; CASTRO, E. M. Qualidade de grão e padrões de classificação do arroz. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 6., Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1998. p. 171-180.

VORM, P. D. J. Uptake of Si by five plant species, as influenced by variations in Si-supply. **Plant and Soil**, v. 56, p. 153-156, 1980.

WALLACE, A. Relationships among nitrogen, silicon, and heavy metal uptake by plants. **Soil Science**, v. 147, n. 6, p. 457-460, 1989.

WALLACE, A. Participation of silicon in cation-anion balance as a possible mechanism for aluminum and iron tolerance in some gramineae. **Journal Plant Nutrition**, v. 15, p. 1345-1351, 1992.

YASSUDA, M. **Comportamento de fosfatos em solos de cerrado**. Piracicaba, 1989, 62 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ – Universidade de São Paulo, 1989.

YOKOYAMA, L. P. O arroz no Brasil de 1985/86 a 1999/00: aspectos conjunturais. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 96-99.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Role of silicon in rice nutrition. **Soil Plant Food**, v. 5, 1959. p. 127-133.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 8, p. 15-21, 1962.

YOSHIDA, S.; NAVESER, S. A.; RAMIREZ, E. A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of rice plant. **Plant Soil**, v. 31, p. 48-56, 1969.

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

YOSHIDA, S. Rice. In: ALVIM, P. T.; KOLZWSKI, T. T. **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p. 57-87.

YOSHIDA, S. Growth and development of the rice plant. In: _____. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, 1981. cap. 1, p. 1-65.