

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

**PRODUÇÃO DE PLANTAS DE ARROZ DE SOB A AÇÃO DE
SILÍCIO E NITROGÊNIO**

MUNIR MAUAD

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

BOTUCATU - SP

Outubro - 2001

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

**PRODUÇÃO DE PLANTAS DE ARROZ DE SOB A AÇÃO DE
SILÍCIO E NITROGÊNIO**

MUNIR MAUAD

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Co-orientador: Prof.Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração Agricultura.

BOTUCATU - SP

Outubro - 2001

DEDICO IN MEMORIA DE MEU **TIO GEORGES**

YOUSSEF EL MEZAONIK, por todo amor e
alegria que me proporcionou. Meu eterno amor ao
senhor.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida, pela minha família e por me guiar nas horas mais difíceis, tornando os caminhos mais tranquilos.

A meus pais, Hanna Rizk Mauad e Leila Mouzauak Mauad, por todo amor, compreensão e incentivos aos meus estudos.

Aos meus irmãos Antonio Roberto, Sumaia, Odete, Ana Paula e cunhados(a) Maria do Carmo, Antonio Carlos e Luis Fernando pelo incentivo e pela vibração com o meu crescimento profissional.

A minha sobrinha Beatriz C. Mauad pela alegria de sua chegada, trazendo mais amor e felicidade para minha família.

Ao Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO, pela orientação segura, pelo incentivo, motivação, amizade e pelo respeito ao ser humano.

Ao Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL, pela orientação segura, pela dedicação ao ensino da cultura do arroz, pela amizade e respeito.

A Carla pelo apoio e pelas horas difíceis que passou ao meu lado.

Ao Prof. Dr. GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER da Universidade Federal de Uberlândia, pelo incentivo ao estudo do silício e pela gentileza de me orientar nas análises de silício em seu laboratório.

A Profa. Dra. Silvia Machado e ao Doutorando Francisco André Ossamu Tanaka (IB-UNESP/Botucatu), pela orientação e realização do estudo anatômico do presente trabalho.

A Profa. Dra. Sonia Regina de Souza do Departamento de Bioquímica da UFRRJ, pela minha orientação na graduação, o que contribui muito para minha formação profissional.

A FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP), pela concessão da bolsa.

Aos Professores do Departamento de Agricultura, pelo ensinamento e crescimento profissional.

Aos amigos da Rural (UFRRJ) Manoel Luiz Pinhão, Celso Gabriel, Adriana, Cristina, Marcos, Ciro, Jair e Henrique pelas alegrias que passamos juntos.

Aos Amigos Mauro Tamburini, Mauricio Masci, Marco Furlan, Silvio Bandarra, Fernando Sodré, Bruno Aigner, Eduardo Pinho, Bruno Lopes, Roueda Aboud, Leonardo Brito e Marcelo Dib pelo incentivo e motivação.

Aos amigos do curso Juliano Corulle, Otoniel, Aragão, Rodolfo, Reginaldo, Feltran, Celso, Salvador, Mello, Max, Peru, Gustavo, Ricardo Pupo, Vagner e Laerte, pela convivência harmônica.

A todos os funcionários do Departamento de Agricultura e Departamento de Solo, pela imensa colaboração.

Aos funcionários da Biblioteca “Paulo Carvalho de Mattos” especialmente a Aparecida, pela atenção e pelo ótimo atendimento.

E a todos, de que uma forma ou outra, contribuíram para esse estudo.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1 Componentes da Produção	8
4.2 Importância do Silício	11
4.3 Silício no Solo e na Planta	15
4.3.1 Silício no solo	15
4.3.2 Silício na planta	16
4.4 Nitrogênio e Componentes da Produção	22
5 MATERIAL E MÉTODOS	26
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6.1 Características das plantas	36
6.2 Produção de matéria seca e teor de macronutriente	49
6.3 Teor de silício no solo e na planta	56
6.4 Estudo anatômico da folha do arroz	62
7 CONCLUSÕES	69
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Características químicas da amostra de solo	27
2 Número de colmo e panícula por metro quadrado, colmos férteis (%), número de grãos total, granados e chochos e fertilidade das espiguetas (%)	36
3 Número de espiguetas chochas: Desdobramento das interações (NxSi) significativas da análise de variância	42
4 Altura de plantas (cm), massa de 1000 grãos (g), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e altura de plantas (cm)	45
5 Produção de matéria seca (kg ha^{-1}) e teores de macronutrientes em função da aplicação de N e Si	50
6 Teores de silício no solo (mg dm^{-3}), na planta (g kg^{-1}) e quantidade de silício extraído (g m^{-2}) em função da aplicação de N e Si	57
7 Teor de silício na planta (g kg^{-1}): Desdobramento das interações (NxSi) significativa da análise de variância	59
8 Quantidade de silício extraído (g m^{-2}): Desdobramento das interações (NxSi) significativa da análise de variância	62

Lista de Figuras

Figuras		Páginas
1	Numero total de chochas em função das doses de nitrogênio e silício.....	43
2	Massa de 1000 grãos em função das doses de silício	47
3	Teores de cálcio em função das doses de silício	54
4	Teores de magnésio em função das doses de silício	55
5	Teores de silício no solo em função dos níveis de adubação silicatada ..	58
6	Teores de silício na planta em função das doses de silício e nitrogênio .	61
7	Corte do estudo anatômico em função das doses 5, 75 e 150 mg de N de solo e zero de SiO ₂	65
8	Corte do estudo anatômico em função das doses 5, 75 e 150 mg de N de solo e 200 mg de SiO ₂	66
9	Corte do estudo anatômico em função das doses 5, 75 e 150 mg de N e 400 mg de SiO ₂	67
10	Corte do estudo anatômico em função das doses 5, 75 e 150 mg de N de solo e 600 mg de SiO ₂	68

Produção de Plantas de Arroz Sob a Ação de Silício e Nitrogênio.

1 RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da adubação nitrogenada e silicatada nos componentes vegetativos (número de colmos por metro quadrado, porcentagem de colmos férteis e número de espiguetas granadas e chochas por panícula), nos componentes da produção (número de panículas por metro quadrado, número total de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas e massa de 1000 grãos), 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 do arroz de sequeiro, cv. IAC 202, cultivado em túnel plástico. O experimento foi constituído da combinação de três doses de nitrogênio (5, 75 e 150 mg de N/kg de solo) aplicado na forma de uréia e quatro doses de silício (0, 200, 400 e 600 mg de SiO₂/kg de solo), aplicado na forma de silicato de cálcio. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizados em esquema fatorial 3x4, com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. O silicato de cálcio foi incorporado ao solo 30 dias antes da semeadura. Na época do florescimento foram coletadas folhas bandeiras para análise de teor de macronutrientes e estudo anatômico. Amostras do tecido vegetal (colmo e folhas) e

do solo foram coletadas no momento da colheita para determinação do silício na planta e no solo, respectivamente. Os resultados obtidos permitiram concluir 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, massa de grãos diminuíram. A adubação silicatada aumentou significativamente a massa de grãos. O aumento nos níveis da adubação nitrogenada diminuiu os teores de silício na planta, porém nenhum efeito foi encontrado para os teores do elemento no solo. 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.

PRODUCTION OF RICE PLANTS UNDER SILICON AND NITROGEN FERTILIZATION.

Botucatu. 79p.

Dissertation (Master Degree in Agronomy and Agriculture) – Faculdade de Ciências

Agronômicas,

Author: **Munir Mauad**

Advisor: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho.

Co-advisor: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

2 SUMMARY

The present study aimed to evaluate the silicon and nitrogen fertilization effects on the vegetative components (number of stem by square meter, percentage of fertile stems and the number of fertile spikelets and unfertile grains by panicle), on the yield components (number of panicle by square meter, total number of spikelets by panicle, spikelets fertilization and mass of 1000 grains), on the plants height, productivity, macronutrients level, silicon level in the soil and in the plants and on the anatomy of the flag leaves from the rice culture, cv. IAC 202, cultivated in plastic tunnel. The experiment was constituted by a combination of three doses of nitrogen (5, 75, and 150mg of N/kg of soil) applied as urea in four doses of silicon (0, 200, 400, and 600mg of SiO₂/kg of soil), applied as calcium silicate. The experimental design used was the entirely casually factorial scheme 3 x 4, with five replications, totalizing 60 experimental units. The calcium silicate was incorporated to the soil 30 days before sowing. At flourishing time, it was collected flag

leaves to analyze the macronutrients level and for anatomical study. Samples of straw tissue (stem and leaf) and soil were collected at harvest period to determine the silicon in content the plant and soil, respectively. The obtained results allowed to conclude that the increment of nitrogen fertilization increased the number of stems and panicle by square meter square, total number of spikelets and productivity, while the percentage of fertile stems, spikelets fertility and mass of grains decreased. The silicon fertilization increased the mass of grains significantly. The nitrogen fertilization decreased the silicon content in the plant, however, there is no effects this element in the soil. The nitrogen fertilization also decreased the silicon deposition on the external cells wall and epidermal tissue of the rice leaves. The calcium silicate increased the of silicon content in the soil, a good silicon source.

Keywords: *Oryza sativa L.*, silicon, nitrogen, yield components, calcium silicate

3 INTRODUÇÃO

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

Componente básico da dieta alimentar da população brasileira, o arroz, fornece 17,9% das proteínas e 34,2% do total de calorias ingeridas considerando-se todas as classes sócio-econômicas. Em países em desenvolvimento como o Brasil, onde a proteína animal é de alto valor econômico uma grande parte da população tem nos cereais a única fonte de proteínas, havendo assim uma demanda muito grande por esses produtos.

O arroz é produzido praticamente, em todo o país, sob diferentes condições ou sistema de produção. Assim, no ecossistema de terras altas, o arroz é cultivado no sistema de sequeiro ou irrigado por aspersão, enquanto que no sistema de várzeas, o cultivo ocorre no sistema de várzeas úmidas ou irrigado por inundação.

O cultivo do arroz no ecossistema de terras altas corresponde a 66% da área total cultivada com arroz no Brasil, e contribuiu com apenas 31% da produção nacional (Sanint, 1997). Esse resultado é explicado pela baixa produtividade do sistema de cultivo de sequeiro que ocupa a maior área de cultivo.

A baixa produtividade do arroz no sistema de sequeiro é consequência da má distribuição pluvial nas principais regiões produtoras e ao baixo uso de adubos e corretivos. Na busca de novas tecnologias que estimulem aumentar a área de produção assim como a produtividade, o uso do silício na cultura do arroz tem se mostrado bastante promissor.

O silício não é considerado parte do grupo de nutrientes essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. No entanto o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, trigo, milho, etc) e algumas espécies não gramíneas (alfafa, feijão, tomate e alface) têm aumentado com a disponibilidade de silício para as plantas.

Para a planta de arroz, o silício é o elemento mais absorvido pelas raízes, sendo que quantidade acumulada de SiO_2 é seis vezes maior que a de K, 10 vezes maior que a de N, 20 vezes maior que a de P_2O_5 e 30 vezes maior que a de Ca (Takahashi, 1995).

A maior parte de silício deposita-se no apoplasto na forma sólida, onde se torna imóvel. Nas folhas de arroz, o silício se depositado abaixo da cutícula, nas células epidérmicas das folhas, formando uma dupla camada de sílica e celulose (Yoshida et al., 1959, Malavolta, 1980; Marschner, 1995; Takahashi, 1995) que teria a função de limitar a perda de água, dificultar a penetração de hifas de fungos, diminuindo assim as perdas na produção por doenças fúngicas e por deficiência hídrica.

Elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o nitrogênio muitas vezes é o fator limitante para atingir altas produtividades de arroz, porém

quando em excesso, pode limitar a produção devido a problemas de acamamento, sombreamento e ocorrência de doenças.

O objetivo deste trabalho foi avaliar na cultura do arroz de sequeiro o efeito de doses de silício e nitrogênio nos componentes da produção, nos componentes vegetativos, na anatomia foliar e teores de macronutrientes da folha bandeira e nos teores de silício no solo e na planta de arroz.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Componentes da produção

A cultura do arroz apresenta três fases bem definidas de desenvolvimento, fase vegetativa, reprodutiva e de maturação.

A fase vegetativa inicia-se com a germinação da semente e termina na diferenciação da gema vegetativa em reprodutiva. Essa fase é caracterizada pela emergência da plântula, ativo perfilhamento, gradual aumento em altura da planta e do desenvolvimento radicular e de folhas (Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993). Essa fase pode ser afetada em sua duração por condições ambientais (Machado, 1994).

A fase reprodutiva inicia-se com a diferenciação da gema vegetativa em reprodutiva e termina no florescimento, é o período mais crítico da cultura. Essa fase é caracterizada pelo alongamento dos colmos, formação das ramificações da panícula, formação do número de espiguetas por ramificações, formações dos órgãos florais, meiose e fecundação (Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993). A fase reprodutiva é tida como pouco variável, com cerca de 25 a 32 dias de duração (Machado, 1994).

A fase de maturação inicia-se com a fertilização do óvulo e termina com a maturação fisiológica do grão, ou seja, quando ele atinge o máximo acúmulo de matéria seca. Essa fase é dividida em três estádios: grão leitoso, grão pastoso e grão duro (Fornasier Filho & Fornasier, 1993). A duração da fase de maturação nas regiões tropicais é de 25 a 35 dias (Machado, 1994).

A produtividade de grão de uma cultura de arroz é definida por quatro componentes: número de panícula por m^2 , número de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas e massa de 1000 grãos (Fornasier Filho & Fornasier, 1993; Machado, 1994). Cada componente é definido em uma ou mais fases do desenvolvimento da planta, podendo estes serem influenciados por fatores ambientais e nutricionais.

Os componentes da produção são determinados em diferentes estádios de desenvolvimento da planta e apresentam contribuições quantitativas diferenciadas para produção de grãos. Portanto, são interdependentes, isto é, o aumento do número de panícula através de altas densidades de semeadura, não provoca necessariamente aumento do número de espiguetas por panícula, podendo até diminuí-lo (Matsushima, 1970).

O número de panícula por área é definido na fase vegetativa e início da fase reprodutiva, compreendendo o período entre a germinação até 10 dias após a iniciação do primórdio da panícula (Fornasier Filho & Fornasier, 1993; Machado, 1994).

Sob condições ambientais favoráveis, o perfilhamento inicia-se de dez a quinze dias após a emergência (Fornasier Filho & Fornasier, 1993). Segundo Pedroso (1980) a temperatura mínima de 15 a 19°C e máxima de 32 a 34°C são desfavoráveis ao perfilhamento.

A diferenciação do meristema no ponto de crescimento do colmo demarca a iniciação do primórdio da panícula, com a planta passando da fase vegetativa para reprodutiva. Durante esta etapa, ocorre, simultaneamente, a alongação do colmo e a diferenciação e desenvolvimento da panícula, estabelecendo-se a competição por assimilados produzidos neste estágio entre os dois órgãos. Cerca de 60% dos assimilados são utilizados na alongação dos entrenós superiores e o restante é direcionado ao crescimento das folhas e panículas jovens (Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993)

O número de espiguetas por panícula é determinado na fase reprodutiva. Inicia-se com a diferenciação da gema vegetativa em reprodutiva, dando origem ao primórdio da panícula, e termina no emborrachamento (Machado, 1994). Este componente é influenciado por fatores genéticos e por condições externas vigentes durante a fase reprodutiva, mais precisamente de 32 a 5 dias que antecedem o florescimento (Yoshida, 1981).

A fertilidade das espiguetas é determinada desde a meiose do grão de pólen (divisão reducional) ainda na fase reprodutiva, até o início do enchimento das espiguetas (etapa leitosa) no início da fase de maturação. Dessa forma é dependente microsporogênese, da antese, da polinização, da fertilização, e do início da fase de maturação, ou seja, quando inicia a translocação de carboidratos, sendo influenciado pelas condições ambientais ocorrentes no desenvolvimento dos estádios citados, principalmente, em torno de 10 dias antes e após o florescimento, assim como por doses excessivas de adubos nitrogenados (Machado, 1994). Segundo Machado (1994), temperaturas do ar acima de 30°C aumentam a esterilidade das espiguetas.

A massa do grão é definida na fase de maturação, é um caráter varietal bastante estável, que depende do tamanho da casca determinada durante as 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 sete primeiros dias para preencher a casca no sentido do seu comprimento, e nos sete dias posteriores, na largura (Machado, 1994). Os fatores genéticos controlam o tamanho da casca, que por sua vez limita o tamanho da cariopse, isto é, o grão não pode crescer além do espaço determinado por ele (Yoshida, 1981). Segundo Crusiol (1998), veranicos durante os seis primeiros dias no período de preenchimento da casca em largura e espessura, diminuem a massa de grãos.

4.2 Importância do Silício.

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre depois do oxigênio. A comprovação da essencialidade do Si para as plantas é muito difícil de ser obtida, devido à sua presença em quantidades significativas no ambiente, como em sais nutrientes, água e ar altamente purificado (Wener & Roth, 1983). Mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico para o desenvolvimento das plantas (Epstein, 1994), a sua absorção traz inúmeros benefícios, principalmente ao arroz. Isto mostra a “essencialidade agrônômica” deste elemento para um aumento e ou produção sustentável desta cultura (Barbosa Filho et al., 2000)

Segundo Korndörfer & Datnoff (1995), o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, milho, trigo etc) e algumas espécies não gramíneas (alfafa, feijão, tomate e alface) têm aumentado com a disponibilidade de silício para as plantas.

Takahashi (1995), verificou que a deficiência de silício reduziu o número de panícula, o número de espiguetas por panícula, a percentagem de espiguetas granadas, mas não reduziu a massa dos grãos em plantas de arroz.

Takahashi (1995) e Ma et al. (1989), estudaram as fases de desenvolvimento das plantas de arroz onde o efeito do silício seria mais benéfico, e concluíram que a fase reprodutiva é a mais afetada pela deficiência de silício, uma vez que 65% do silício é absorvido nesta fase.

Em experimento com solução nutritiva, Ma et al. (1989), verificaram que a suspensão do fornecimento de silício na fase reprodutiva das plantas de arroz causou uma redução de 40% no número de espiguetas granadas quando comparado as fases vegetativas e de maturação, e de 10% no número de espiguetas por panícula, em relação ao tratamento que o silício foi mantido em todos os estádios de desenvolvimento. Segundo o mesmo autor, a adição de silício na fase reprodutiva aumentou em 32% o número de espiguetas por panícula em relação aos tratamentos que não receberam silício em nenhuma fase de desenvolvimento, e que o número de panícula e a massa de 1000 grãos foram pouco influenciados pela remoção do silício da solução nutritiva em qualquer fase de desenvolvimento. O silício parece atuar na fertilidade das espiguetas, porém, nem o mecanismo ou local de ação pelo qual o silício atua neste componente, são conhecidos.

Esses resultados contrariam os obtidos por Deren et al. (1994), que encontraram resposta significativa para a massa de 1000 grãos e aumentos de 15% no número de espiguetas por panícula, sendo o número de panícula por metro quadro o único componente da produção a não responder significativamente a adubação com silício em condições de

campo. O aumento no número de espiguetas por panícula contribuiu para o aumento da produtividade.

Korndörfer et al. (1999a) obtiveram aumentos para massa de grão na cultivar de arroz IAC 165, trabalhando com doses de silício em quatro diferentes classes de solo. A maior resposta para massa de grãos foi obtida no Latossolo Roxo Distrófico, seguido pelo Latossolo Vermelho-Escuro Álico, Latossolo Vermelho-Amarelo Álico e Areia Quartzosa Álico. A maior resposta obtida no Latossolo Roxo Distrófico em relação aos demais solos se deve ao fato de ser um solo mais jovem com índice Ki maior que os outros. O índice Ki é um indicativo do estágio de intemperização do solo, expressa a relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Quanto menor o valor de Ki, mais adiantado é o estágio de intemperização do solo (Oliveira et al., 1992).

Balastra et al. (1989), em cultivo com solução nutritiva, verificaram que a massa de grãos de arroz foi significativamente maior na presença de silício, entretanto, quando a casca do arroz foi retirada a massa de 100 grãos não foi alterada.

Carvalho (2000) estudando efeitos de fontes e doses de silício nos componentes da produção da cultura do arroz (IAC 202) irrigado por aspersão em condição de campo, 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.

Em trabalho realizado em casa de vegetação e condição de campo, analisando os cultivares Caiapó, Carajás e a linhagem CNA 7706 sob diferentes doses de silício, Barbosa Filho et al. (1998) obtiveram aumento significativo na produtividade de grãos, assim como nos teores de silício na palha e casca do arroz em condições de casa de

vegetação. Em condições de campo ocorreram aumentos na produtividade de grãos, número de espiguetas granadas por panícula e aumento na absorção de silício pelas plantas. Segundo os autores o arroz responde à adubação silicatada, sendo que em condições de campo 400 kg ha^{-1} foi suficiente para um aumento de 9,4% na produtividade de grãos de arroz.

Barbosa Filho (1987) relatou, em condições controladas, os efeitos benéficos do uso do silício na produção e em alguns componentes da produção. Verificou aumento no número de panícula por metro quadrado, no número de espiguetas por panícula e na fertilidade das espiguetas, através do aumento do número de espiguetas granadas, o que resultou em maior produção.

Faria (2000) obteve também aumentos significativos de produção na cultura do arroz de sequeiro (IAC 201) em experimento de vaso, variando doses de silício em dois tipos de solos e com diferentes tensões de água. A resposta a adubação silicatada foi maior no Latossolo Vermelho-Amarelo Álico do que na Areia Quartzosa Álica. Para maior tensão de água, isto é, menor disponibilidade de água, observou-se uma relação direta e positiva entre a produção e as doses aplicadas, sendo que a maior dose de silício proporcionou a maior produção de grãos.

O aumento da produção de arroz pelo silício possivelmente esteja relacionado com o aumento da resistência do vegetal ao ataque de fungos patogênicos, a ação de muitas pragas e de maior resistência ao acamamento (Del Giudice et al., 1979). Datnoff et al. (1991) atribuíram ao uso de silício um aumento da produção de arroz devido à diminuição da severidade de doenças como a bruzone e a mancha parda, além da melhora do estado nutricional das plantas.

4.3 Silício no Solo e na Planta.

4.3.1 Silício no Solo

As principais formas de silício no solo são: silício solúvel, silício adsorvido ou precipitado como óxido de ferro e alumínio e silício presentes em minerais silicatados (Raij & Camargo, 1973).

Os solos das regiões temperadas apresentam teores de silício calculado como SiO_2 , que excede aos dos sexquióxidos de Al e Fe, o contrário acontecendo nos solos das regiões tropicas, estando presente em minerais primários (ex: Feldspato e Quartzo) e secundários (ex: Calinita e Montmorilonita), com resistência muito diferente ao intemperismo (Malavolta, 1980). O óxido de silício (SiO_2) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais. Todavia em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicas, o silício é encontrado basicamente na forma de quartzo e opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) sendo esta última não disponível às plantas (Barbosa Filho et al., 2001).

Regiões chuvosas e com intensa intemperização, apresentam baixos teores de silício no solo (Tisdale et al., 1993). Os óxidos de ferro e alumínio são os principais responsáveis pela adsorção do silício em solução (Mengel & Kirkby, 1987). Na solução do solo o ácido monossilícico comporta-se como um ácido fraco desprovido de cargas (McKeague & Cline, 1963; e Raij & Camargo, 1973).

Savant et al. (1997a) atribuíram a queda da produtividade do arroz em várias regiões do mundo a uma possível diminuição do teor de silício no solo. Savant et al., (1997b) relacionaram três fatores que podem estar envolvidos neste fenômeno: a) muitos solos

de áreas produtores de arroz de regiões trópicos e sub-tropicais apresentam graus variados de dessilificação, b) a cinética de dissolução do silício no solo é muito baixa, e c) o silício da solução do solo é adsorvido por sexquíóxidos que estão presentes em muitos solos tropicais.

A utilização intensiva dos solos, principalmente com culturas acumuladoras de silício, pode torná-los paulatinamente deficientes no elemento, pois a exportação do silício não é compensada via de regra com fertilizações silicatadas (Lima Filho et al., 1999).

Raij & Camargo (1973) estudaram os teores de sílica solúvel nos solos do Estado de São Paulo e encontraram valores variando de 1 a 43 mg dm⁻³, sendo os maiores valores presentes nos Podzólico argiloso e os menores no Latossolo fase arenosa.

Korndörfer et al. (1999b) estudaram em casa de vegetação o efeito de diferentes doses de silicato de cálcio em diferentes tipos de solo sobre o arroz de terras altas (IAC 165), e concluíram que o nível de suficiência de silício no solo para atingir 90% da produção máxima nesta condição foi de 9,8 mg dm⁻³.

Para Snyder (1991), solos com teores de silício menores que 10 mg dm⁻³ devem receber adubação silicatada, enquanto os solos com teores iguais ou maiores que 15 mg dm⁻³ não necessitariam de adubação silicatada. Korndörfer et al. (1999d) conduziram 28 experimentos de campo no período de 1992 a 1996 com a cultura do arroz, e sugeriram os níveis de silício no solo como baixo, menor que 6 mg dm⁻³, médio entre 6 a 24 mg dm⁻³ e alto acima de 24 mg dm⁻³.

4.3.2 Silício no Planta

As plantas absorvem o silício da solução do solo na forma de ácido silícico H₄SiO₄ (Tisdale et al., 1993). A absorção de silício pelas plantas de arroz parece ser

um processo metabolicamente ativo, devido à sua absorção preferencial em baixas concentrações do elemento no meio, e na exclusão quando em altas concentrações, enquanto que para outras espécies como trigo, girassol e a soja esse mecanismo parece ser passivo (Vorn, 1980). No entanto para Mengel & Kirkby (1987), a absorção de silício é feita de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de água. Entretanto, para Takahashi (1995), a absorção é feita de forma ativa, pois a absorção de silício não foi inibida quando o fornecimento de água foi interrompido temporariamente, sendo a absorção influenciada por inibidores da respiração. Entretanto, a não identificação de uma única molécula orgânica que contenha ou exija silício ou ligações conhecidas na natureza de Si-O-C ou Si-C torna difícil à comprovação de sua essencialidade (Exley, 1998).

Na natureza as plantas diferem bastante quanto à sua capacidade de absorver silício, assim, genótipos de arroz diferem no teor de silício, respondendo de modo diferente à aplicação do elemento (Deren et al., 1994).

Segundo Winslow (1992), genótipos de arroz do grupo Japônica apresentam concentração de silício de 50 a 100% mais alta que genótipos do grupo Índica, e cultivares tradicionais apresentam maior eficiência na absorção desse elemento. Barbosa Filho et al. (1998) encontraram diferenças significativas na porcentagem de silício na palha do arroz das Cultivares Caiapó e Carajás e na linhagem CNA 7706.

Na planta (palha) os teores de silício são classificados como baixo, menor que 17g kg^{-1} , médio entre 17 a 34g kg^{-1} e alto acima de 34g kg^{-1} (Korndörfer et al. 1999b).

Grothge-Lima (1998) trabalhando com duas cultivares de soja, em solução nutritiva, encontrou diferenças genótípicas quanto à absorção e translocação de silício, sendo o cultivar Garimpo Comum mais eficiente que o Engopa 301.

O transporte do silício é feito pelo xilema e sua distribuição depende das taxas de transpiração dos diferentes órgãos da planta. O elemento é imóvel na planta e é depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes (Yoshida et al., 1962) sendo que na lâmina foliar o acúmulo é maior que na bainha foliar (Tanaka & Park 1966). Entretanto, para Winslow (1992), a casca do arroz é o órgão que mais acumula silício na planta, seguido pela folha bandeira e panícula.

Yoshida et al., (1962) e Agarie et al. (1998a) observaram que a maior parte do silício absorvido pela planta é depositada na folha, nos tecidos da epiderme logo abaixo da cutícula, mais precisamente nas paredes celulares mais externas. Segundo Agarie et al. (1998a) o silício estaria envolvido na biossíntese dos componentes da parede celular, devido às folhas das plantas de arroz tratadas com silício apresentarem níveis mais altos de polissacarídeos do que as folhas das plantas que não foram tratadas com silício.

Para Yoshida et al. (1962), o silício acumulado nas lâminas foliares provavelmente forma uma dupla camada de sílica-celulose, conferindo resistência à penetração de hifas, diminuição da permeabilidade ao vapor de água limitando a perda de água através da cutícula. O silício depositado na epiderme das folhas de arroz, está diretamente relacionado com a resistência das plantas às doenças fúngicas, cujo mecanismo de resistência mais aceito é de natureza mecânica (Barbosa Filho et al., 2001).

Balastra et al. (1989) observaram que as plantas de arroz crescidas em solução nutritiva contendo silício apresentavam picos de silício maior na epiderme das

lâminas foliares e nas células buliformes da parte superior da folha. Ainda, segundo os mesmos autores os picos de silício foram distintos em todos os pontos analisados na folha, embora o silício tenha sido maior em algumas células, entretanto nas plantas cultivadas em meio sem silício esses foram bem menores.

Savant et al. (1997b) afirmam que após o silício ser absorvido pelas plantas como ácido monossilícico e a água ser perdida pela transpiração, o silício fica depositado no tecido da epiderme das folhas das plantas de arroz.

A redução da transpiração cuticular pode chegar a 30% nas plantas tratados com silício (Yoshida et al., 1959). Horiguchi (1988) e Agarie et al. (1998b) encontraram menor taxa de transpiração em plantas que cresceram em meio que havia silício. Segundo Agarie et al. (1998b) a camada cuticular tem um importante papel na regulação estomatal, devido a manutenção da umidade nas células da epiderme junto as células guarda do aparelho estomático.

O uso de silício tem promovido melhora 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; Balastra et al., 1989), também aumenta a altura das plantas, consequência de maior comprimento da lâmina foliar (Yoshida et al., 1969; Takahashi, 1995; Faria, 2000), porém com pouca influencia no acúmulo de matéria seca (Tanaka & Park, 1966; Liang et al., 1994; Carvalho, 2000).

O silício também pode aumentar o número e o tamanho dos aerênquimas nas plantas de arroz, estruturas responsáveis pela condução do oxigênio da parte

aérea para as raízes, aumentando o poder oxidativo, diminuindo a toxidez de ferro e manganês na planta (Barbosa Filho, 1987).

Vermas & Minhas (1989) observaram que as plantas de arroz cultivadas em solo com silício apresentavam teores de ferro e manganês na palha e nos grãos menores que as plantas cultivadas em solo sem silício, mesmo quando o ferro e manganês eram fornecidos ao meio, e que as raízes das plantas cultivadas com silício retinham mais ferro e manganês diminuindo, assim, sua translocação para plantas.

Horiguchi (1988) trabalhando com a cultura do arroz em solução nutritiva, com diferentes concentrações de manganês, observou que as plantas crescidas em meio que continha silício, apresentavam maior conteúdo de manganês nas raízes e menos na parte aérea, e que a transpiração foi menor nas plantas cultivadas em meio contendo silício.

Segundo Takahashi (1995) as quantidades absorvidas de SiO_2 pelas plantas de arroz são 10 vezes maior que de N, 20 vezes maior de P_2O_5 e 6 vezes maior que K.

Carvalho (2000) não encontrou diferença estatística nos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, em função das diferentes fontes e doses de silício na cultura do arroz IAC 202, em condições de campo.

Islam & Saha (1969) trabalharam com nove níveis de adubação silicatada (0, 5 10, 20, 40, 80 100, 120 e 240 mg dm^{-3} de silício) em sdução nutritiva e avaliaram seus efeitos na composição química dos tecidos das plantas de arroz nas fases vegetativa, reprodutiva e de maturação. Observaram diminuição do teor de nitrogênio nas plantas a partir de 20 mg dm^{-3} em todos as fases, aumento do teor de fósforo, cálcio e magnésio e diminuição nos teores de potássio. Os teores de ferro e manganês diminuíram com o aumento das taxas de silício devido ao aumento do poder oxidativo das raízes, tornando-os

insolúveis ficando depositados na superfície das raízes. O aumento dos níveis de silício na solução aumentou os teores do elemento no tecido vegetal, em especial nos estádios mais adiantados, assim como aumento nos teores de carboidratos.

Wallace (1989), em experimentos com aveia, arroz e tomate, concluiu que o nitrogênio diminuiu a concentração de silício nas plantas de arroz e aveia, porém nenhuma diferença foi observada para o tomate, e que N-amônio é mais prejudicial que o N-nítrico para a absorção de silício. O silício provavelmente compete com o nitrato pelos sítios de entrada na plantas (Wallace et al., 1976).

Plantas onde a absorção de cátions é igual a de ânions a absorção de silício é relativamente pequena. Quando a absorção de cátions é maior que a de ânions, a solubilidade do silício é diminuída, entretanto quando a absorção ânions é maior que a de cátions a solubilidade do silício é aumentada (Wallace, 1992).

Savant et al. (1997b) atribuíram à adubação silicatada, uma melhor utilização do nitrogênio, especialmente quando altas doses desse elemento são utilizadas, e aumento na disponibilidade de fósforo para as plantas.

Carvalho et al. (2000) estudaram a dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto após a fertilização fosfatada. Concluíram que as plantas que receberam adubação silicatada apresentavam uma produção de matéria seca maior que as plantas que não receberam silício. Também verificaram que a dessorção de fósforo foi mais evidente nos solos menos intemperizados (Cambissolo) do que no solos mais intemperizados (Latossolo). Entretanto, para Savant et al. (1997b), o silício não aumentaria diretamente a disponibilidade de fósforo no solo, mas sim a taxa de P:Mn na planta, devido a diminuição na absorção de Fe e Mn e assim indiretamente melhor utilização do fósforo dentro da planta.

4.4 Nitrogênio e componentes da produção

O nitrogênio é essencial para o crescimento das plantas, pois é parte de cada célula viva, participa das funções estruturais da planta, tais como aminoácidos e proteínas, ácidos nucleicos, pigmentos, enzimas e coenzimas, e nos processos de multiplicação e diferenciação celulares, herança gênica, constituição de tecidos, fotossíntese (Malavota et al., 1997).

O número de panículas/m² é função direta do número de perfilhos/área, que se mostra influenciado pela disponibilidade de nitrogênio, assim como o número de espiguetas/panícula, porcentagem de espiguetas férteis e a massa dos grãos (Fomasieri Filho & Fomasieri, 1993).

O nitrogênio aumenta o número de perfilhos e, com isso, o número de panículas, o número das espiguetas, a massa dos grãos e o teor de proteína. Porém, altas doses de nitrogênio induzem à formação de grande número de perfilhos e de folhas novas, provocando sombreamento, acamamento, criando condições favoráveis à ocorrência de doenças, com reflexo em redução da produção (Barbosa Filho, 1987 e 1991).

Segundo Malavolta & Fomasieri Filho (1983), as variedades de arroz do grupo tradicional respondem relativamente menos ao nitrogênio que as do grupo moderno, e que aplicação de altas doses de nitrogênio nas cultivares tradicionais estimula o perfilhamento e a formação de novas folhas causando sombreamento, acamamento e queda produtividade.

A aplicação de nitrogênio na diferenciação floral influencia o número de panículas aumentando a fertilidade dos colmos, ao passo que maior perfilhamento no estágio

inicial de crescimento estimulado pela aplicação precoce de nitrogênio não conduz diretamente em aumento de panículas (Diniz et al., 1976)

Trabalhando com níveis de adubação nitrogenada (0, 30, 60, 90 kg ha⁻¹) e diferentes cultivares de arroz de terras altas do grupo tradicional (IAC 47, IET 1444 e IAC 47) com ou sem deficiência hídrica, Stone et al. (1979), encontraram aumentos na produção de grãos com adubação nitrogenada até 60 kg N ha⁻¹, quando a água no solo não foi limitante, entretanto, quando a água tornou-se limitante, não houve resposta à adubação nitrogenada.

Stone et al. (1999) estudaram, por três anos, diferentes doses de nitrogênio na cultura do arroz (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) no cultivo irrigado por aspersão. Verificaram que o incremento da adubação, aumentou o número de panícula /m², grãos por panícula e a produtividade, apenas a massa de 100 grãos não foi afetada significativamente pelas doses de nitrogênio, e que os genótipos estudados (cultivar Maravilha, linhagens CNA 7127, CNA 7730 e CT 7/15) não diferiram quanto à produtividade, apesar da diferença entre os componentes da produtividade, devido a uma compensação entre eles.

Diniz et al. (1976), estudaram o aumento nos níveis da adubação nitrogenada (0, 30, 60 e 90 kg N ha⁻¹) na cultura do arroz, e encontraram aumento no número de perfilhos e panículas por metro quadrado, altura de planta , na esterilidade das espiguetas e diminuição no peso de grãos.

Fageria et al. (1995a) avaliaram a resposta de diferentes genótipos de arroz de sequeiro sob diferentes níveis de fertilidade NPK. O acúmulo total de nitrogênio variou nos três níveis de fertilidade testado, baixo, médio e alto, ocorrendo um aumento no acúmulo de nitrogênio com o aumento do nível de fertilidade. No nível mais alto de

fertilidade, 56% do nitrogênio foi translocado para os grãos, o que certamente contribuiu para sua melhor qualidade e maior produtividade.

Os genótipos de arroz tradicionais e favorecidos diferem quanto à necessidade de nitrogênio. Em média para produção de 1 tonelada de grãos são absorvidos 27 e 32 kg de nitrogênio pelos genótipos tradicionais e favorecidos respectivamente (Fageria 1995a e 1995b). Segundo Stone et al. (1999) os genótipos de arroz favorecidos necessitam de doses de nitrogênio duas vezes superiores às recomendadas para os genótipos tradicionais que são de 40 a 50 kg de N ha⁻¹. Raij et al. (1996) recomendam de 50 a 70 kg de N ha⁻¹ para a cultura do arroz de sequeiro no Estado de São Paulo.

Arf (1993), trabalhando com os cultivares sob irrigação por aspersão (Carajás, Rio Paranaíba, Araguaia e Guarani), observou que a variação da época de aplicação do nitrogênio em cobertura (20, 35, 50, 20 e 50 DAE), não alterou o número de panícula/m², número de espiguetas por panícula e massa de 100 grãos. Quando variou as doses de nitrogênio em cobertura, verificou efeito significativo de doses de nitrogênio somente para altura de plantas. A massa de 100 grãos foi afetada significativamente pelos cultivares e pela interação cultivares x nitrogênio, na qual o cultivar Guarani apresentou a maior massa de grão em todas as doses de nitrogênio, e a cultivar Rio Paranaíba uma redução de 0,0011 grama na massa de 100 grãos para cada kg de nitrogênio aplicado.

O aumento dos níveis de adubação nitrogenada, tende a estimular um aumento na absorção de potássio, sendo este considerado um efeito normal em gramínea (Lopes, 1998). As raízes das monocotiledôneas apresentam baixa CTC tendo preferência na absorção de cátions monovalentes (Büll et al., 1993). Para Malavolta (1980) plantas produtoras de amido, açúcar e fibras parecem particularmente mais exigentes em potássio.

A necessidade de enxofre está intimamente relacionada às quantidades de nitrogênio disponíveis para as culturas. Ambos são constituintes de proteínas, além do enxofre estar relacionado na atividade da enzima redutase do nitrato, a qual é necessária para conversão de N-NO_3 em aminoácidos nas plantas (Lopes, 1998).

5 MATERIAL E MÉTODOS.

5.1 Local do experimento

O experimento foi instalado e conduzido no período de 30/11/99 a 25/03/00, em área experimental pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Botucatu, apresentando como coordenadas geográficas: 22°51' Latitude S e 48°26' Longitude W Grw e altitude de 815 m.

5.2 Clima e solo

O clima de Botucatu é classificado como Cwa, segundo a classificação internacional de Koppen (Cunha et al., 1994), que significa clima temperado quente, com chuvas no verão e seca no inverno, temperatura média do mês mais frio inferior a 17°C e do mês mais quente superior a 23°C com precipitação pluviométrica média anual de 1533,2 mm.. O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico

(Embrapa, 1999), coletado na profundidade de 0-20 cm, na unidade “Patrulha” da Faculdade de Ciências Agrônômicas - Campus de Botucatu. A análise química do solo foi realizada segundo a metodologia proposta por Raij e Quaggio (1983), e os resultados estão contidos Quadro 1.

Quadro 1 - Características químicas da amostra de solo na profundidade de 0-20cm.

P _{resina}	MO	pH	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H+Al	Al ⁺⁺⁺	V%
(mg/dm ³)	(g/dm ³)	(CaCl ₂)	mmol/dm ³					
1	16	4,0	0,1	2	0	64	0	4

A calagem foi realizada 60 dias antes da semeadura, de modo a elevar o valor V% para 50 (Raij et al., 1996). Utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 85%, sendo que cada vaso recebeu 55 g de calcário o equivalente a 3,63 t ha⁻¹. Os vasos foram molhados e em seguida cobertos para evitar a perda de água por evaporação, melhorando desta forma a solubilização do calcário.

5.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 4 com cinco repetições totalizando 60 unidades experimentais.

Os tratamentos empregados constituíram da aplicação de 5, 75 e 150 mg de N/kg de solo, utilizando uréia como fonte de N, e 0, 200, 400 e 600 mg SiO₂/kg de solo, o equivalente a 0, 93, 187 e 280 mg de Si/kg de solo, utilizando a fonte silicato de cálcio (Wollastonita) como fonte de silício, com as seguintes características químicas e físicas: total

de óxido de silício (SiO_2) 45,2%; óxido de silício (SiO_2) solúvel em ácido cítrico 31,8%; pH em água 7,0 a 7,5; solubilidade em água desprezível; 91% de silicato de cálcio; 1% de óxidos de Al, Fe, Mg e K e 2,85% de Sais de Flúor. O fator de correção para transformar SiO_2 em Si é de 0,467.

5.4 Cultivar

O cultivar utilizado foi o IAC – 202, obtido do cruzamento entre os cultivares Lemont e IAC 25, pelo Instituto Agronômico de Campinas, no ano de 1985. O cultivar é indicado para terras altas e apresenta as seguintes características: altura média de 87 cm, sendo considerado de porte baixo, com massa de 100 grãos 2,20 g, ótima resistência ao acamamento, ciclo médio de florescimento de 87 dias, resistência moderada a brusone (*Pyricularia oryzae* c.v.), é recomendado para o sistema de cultivo irrigado por aspersão e sequeiro, de excelente características culinárias (Instituto Agronômico de Campinas, 1998).

5.5 Condução do experimento

O experimento foi conduzido em túnel plástico, com livre circulação de ar nas laterais e com pé direito de 2,70 m de altura. Cada unidade experimental foi constituída por caixa de cimento amianto com dimensões internas de 40x40x25 cm, com 30 kg de solo, constando 2 linhas de semeadura de 0,40m de comprimento e espaçadas de 0,20 m entre si.

A semeadura foi realizada no dia 30/11/99, utilizando 70 sementes viáveis. Aos seis (6) dias após a semeadura, quando 50% das plântulas de cada unidade experimental apresentava o coleóptilo acima do nível do solo, considerou-se a data de

emergência. Realizou-se um desbaste aos nove dias após a emergência (DAE), de modo que cada unidade experimental ficasse com 30 plantas em cada linha.

A adubação de semeadura constou de 5 mg N/kg solo para todos os vasos, sendo utilizado a uréia (45% de N) como fonte de nitrogênio; 100 mg P/kg solo e 150 mg K/kg solo, utilizando-se superfosfato simples (18% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O) como fonte de fósforo e potássio, respectivamente. Aos 35 dias após a emergência foi realizada adubação de cobertura com nitrogênio, utilizando 70 e 145 mg de N/kg de solo, de forma que o experimento ficasse com três diferentes doses de N, sendo $N_1 = 5$ mg N/Kg, $N_2 = 75$ mg N/kg e $N_3 = 150$ mg N/kg de solo, utilizando-se uréia como fonte de N. O silício foi incorporado ao solo 30 dias antes da semeadura nas doses 0, 200, 400 e 600 mg de SiO_2 /kg de solo

Foi aplicada 50 ml da solução de micronutrientes (Cl, Cu, Fe-Edta, Mn, Mo e Zn) (Sarruge, 1975) semanalmente a partir dos 35 até 76 DAE em cada unidade experimental, com a finalidade de garantir o fornecimento destes elementos ao pleno desenvolvimento das plantas.

5.6 Variáveis Analisadas.

Cada unidade experimental foi constituída por 2 linhas de plantio de 0,40 m de comprimento com 30 plantas. Uma linha foi utilizada para determinar o teor de macronutrientes na planta e para o estudo anatômico, o que se deu 30 dias antes do final do experimento, coletando todas as folhas bandeira para essas determinações. Essa linha de plantas foi descartada por ocasião da colheita. A outra linha foi utilizada na determinação dos

componentes da produção, componentes vegetativos e teor de silício na planta. Amostras de solo foram coletadas com um trado tipo sonda e preparadas para determinação de silício no solo.

5.6.1 Altura da planta (cm): Foi determinada em 10 plantas ao acaso no estágio de grão leitoso, medindo a distância entre o nível do solo e a extremidade superior da panícula

5.6.2 Componentes vegetativos.

5.6.2.1 Número de colmos por metro quadrado: Contagem do número de colmos existente em 0,40m de fileira de cada unidade experimental e calculado para metro quadrado, no momento da colheita.

5.6.2.2 Porcentagem de colmos férteis: Determinado no momento da colheita, em cada unidade experimental, através da relação: número de panícula por metro quadrado pelo número de colmos x 100.

5.6.2.3 Número de espiguetas granada e chochas por panículas: Determinada em 10 panículas coletadas ao acaso. As panículas foram trilhadas manualmente e as espiguetas separado através do fluxo de ar.

5.6.3 Componentes da produção.

5.6.3.1 Número de panículas por metro quadrado: Contagem do número de panículas contidas em 0,40 m da fileira de cada unidade experimental e calculado por metro quadrado, no momento da colheita.

5.6.3.2 Número total de espiguetas por panícula: Contagem do número de espiguetas de 10 panículas por unidade experimental, coletadas no momento da avaliação do número de panícula por metro quadrado.

5.6.3.3 Fertilidade das espiguetas: Determinada para cada unidade experimental a partir da relação: número de espiguetas granadas por panículas pelo número total de espiguetas por panícula x 100.

5.6.3.4 Massa de 1000 grãos: Determinado através da coleta ao acaso e da pesagem de oito amostras de 100 grãos (13% base úmida), segundo Brasil (1992).

5.6.3.5 Produtividade de grãos: Determinada através da utilização de todas as panículas contidas em uma linha de 0,40m. As panículas foram trilhadas manualmente e o material foi limpo, separando palha e os grãos chochos através do fluxo de ar. Em seguida, determinou-se o peso do grãos colhidos e foi calculada a produtividade de grãos e os dados transformados para kg ha^{-1} a 13% base úmida.

5.6.4 Análise química do tecido vegetal.

Foram coletadas 50 folhas bandeira ao acaso de cada unidade experimental no período do florescimento, quando 50% das panículas estavam visíveis (Raij et al. 1996). O material coletado foi seco em estufa a 60°C até atingir peso constante, seguido de moagem. Da matéria seca das folhas foram determinados os macronutrientes, segundo metodologia descrita por Malavolta et al.(1997).

5.6.4.1 Determinação do silício no tecido vegetal.

Para análise de silício foi utilizada a parte aérea da planta de arroz (colmo + folhas), que foi coletada no final do experimento. O material foi seco em estufa a 60°C até atingir peso constante, moído e acondicionado em embalagens plásticas. Utilizou-se a metodologia descrita por Elliott & Snyder (1991) adaptada por Korndörfer et al. (1999c). Amostras de 0,1000g da parte aérea foram colocadas em tubos plásticos, seguida do acréscimo de 2 ml de H₂O₂ p.a (30%) e 3 ml de NaOH (1:1) para digestão. Os tubos foram agitados e colocados na autoclave por um período de 1 hora a 123°C e 1,5 atm de pressão.

Uma alíquota de 5 ml do sobrenadante foi retirada dos tubos e colocada em copos plásticos. Em seguida acrescentaram-se 15 ml de água destilada, 1 ml de HCL (1:1) e 2 ml de molibdato de amônio, seguido de uma leve agitação. O Si presente no material transforma-se em H₄SiO₄ que desenvolve a cor amarela na presença do agente complexante, que é o molibdato de amônio em meio ácido (Faria, 2000).

Depois de 5 a 10 minutos, adicionou-se 2 ml de ácido oxálico, procedendo-se novamente uma leve agitação. A leitura foi feita em espectrofotômetro no comprimento de onda de 410nm.

5.6.4.2 Determinação de silício no solo

Para análise de silício, as amostras de solo foram coletadas no final do experimento. As amostras foram secas na temperatura ambiente e peneiradas (< 2,0 mm). A metodologia utilizada foi descrita por Korndörfer et al.(1999c). Amostras de 10g de solo foram colocadas em frasco plástico, seguido do acréscimo de 100 ml de ácido acético 0,5%. Os frascos foram fechados e colocados para agitar por 1 hora. Após esse período o material

permaneceu por mais 15 minutos em descanso e posteriormente a solução agitada foi filtrada e deixada em repouso até o dia seguinte. Uma alíquota de 10 ml da solução (agitada e filtrada) foi retirada e colocada em copo de plástico (tipo de cafezinho) sendo utilizada para determinação do silício. Aos 10 ml da solução acrescentou-se 1 ml da solução sulfo-molibdica a 7,5%. O ácido monossilício (H_4SiO_4) forma mais simples e solúvel de Si na solução reage com o molibdato desenvolvendo cor amarela (Faria, 2000). Após 10 minutos foram acrescentados 2 ml da solução ácido tartárico 20%, utilizado para complexar o fósforo da solução. Após 5 minutos adicionou-se 10 ml da solução ácido ascórbico 0,3%. A redução do Si transforma o complexo amarelo para a cor azul. Depois de uma hora foi feita a leitura do Si em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660nm.

5.6.5 Anatomia da folha.

Para análise da estrutura anatômica do limbo foliar foram coletadas as folhas bandeira de plantas de arroz submetidas aos diferentes tratamentos. As amostras da região mediana do limbo foliar de cada folha foram fixadas em solução de Karnovsky por 24 horas, seguida de desidratação em série alcoólica e infiltradas em resina glicol-metacrilato (Carmello –Guerreiro 1995). Os blocos foram seccionados em micrótomo rotatório manual Leica RM 2145, e os cortes com espessura de 8µm foram corados com azul de toluidina pH 3,6 a 0,05% (Feder & O'Brien, 1968). As amostras foram montadas em "Entellan".

Os aspectos mais relevantes foram fotografados em fotomicroscópio Zeiss filme T.MAX, ASA, 100.

5.7 Análise estatística.

Os resultados obtidos em cada variável analisada, com exceção da anatomia da folha, foram submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também para as doses de silício realizou-se análise de regressão polinomial e os resultados foram apresentados mesmo na ausência de efeito significativo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Características das plantas.

Os resultados do número de colmos e panículas por metro quadrado, porcentagem dos colmos férteis, número total de espiguetas, espiguetas chochas e granadas por panícula e fertilidade das espiguetas estão apresentados no Quadro 2. Houve efeito significativo das doses de nitrogênio sobre essas variáveis e da interação NxSi sobre o número de espiguetas chochas/panícula, enquanto as doses de silício não influenciaram nenhuma das variáveis (Quadro 2).

O número de colmos por metro quadrado (Quadro 2) não é um componente da produção. Através do número de colmos pode-se determinar a capacidade de perfilhamento de uma determinada cultivar. Assim pode-se dizer que o número de colmo é um dos componentes que determina o componente número de panícula por metro quadrado.

A aplicação de nitrogênio incrementou de forma significativa o número de colmos (Quadro 2). O número de colmo está relacionado com a densidade de

semeadura e com a capacidade de perfilhamento do genótipo. No presente trabalho, todas unidades experimentais ficaram com 30 plantas em cada linha de semeadura após o desbaste, assim o aumento no número de colmo, com o aumento da adubação nitrogenada, foi devido a um estímulo da cultivar ao perfilhamento, relacionado à maior disponibilidade de nitrogênio para as plantas.

Quadro 2 – Número de colmos e de panículas por metro quadrado; colmos férteis; número de espiguetas: total, granadas e chochas por panícula e fertilidade das espiguetas (%) em função da aplicação de Nitrogênio e Silício

Tratamentos	Colmos		Colmos férteis	Espiguetas			Fertilidade das espiguetas
	Colmos ⁽¹⁾ m ⁻²	Panículas m ⁻²		Total	Granadas	Chochas	
Doses de N (mg/kg solo)	----- n°-----		%	-----	n°-----		%
5	484 c	421 b	88 a	62 b	55 b	7	89 a
75	696 b	628 a	90 a	79 a	68 a	11	86 a
150	824 a	628 a	77 b	86 a	61 ab	24	71 b
Doses de SiO ₂ (mg/kg solo)							
0	653	542	85	79	64	14	84
200	655	549	85	78	63	14	83
400	705	580	84	73	59	15	82
600	658	565	88	72	58	13	81
Valor de F⁽²⁾							
Doses de N	110,50 **	60,56 **	10,48 **	17,48**	6,34 *	51,21 **	41,74 **
Doses de Si	1,75 ns	0,94 ns	0,24 ns	1,16 ns	1,38 ns	0,23 ns	0,82 ns
N x Si	0,56 ns	0,86 ns	0,76 ns	1,70 ns	0,63 ns	2,91 *	1,33 ns
CV (%)	10,9	12,2	11,7	17,5	19,2	40,2	7,7

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% .

⁽²⁾ **, * e ns significativo a 1 % e 5% – não significativo.

O número de panícula é definido no período compreendido da germinação até 10 dias após o primórdio da panícula (Fomasieri Filho & Fomasieri, 1993 e Machado 1994), sendo função direta do número de colmos, portanto, é dependente de fatores genéticos e ambientais.

O número de panículas por metro quadrado foi influenciado pelas doses de nitrogênio (Quadro 2), sendo o maior número de panícula por metro encontrado na dose 75 mg de N/kg de solo, no entanto, não diferiu estatisticamente da dose de 150 mg de N/kg de solo.

A temperatura mínima e máxima na época do perfilhamento estiveram na faixa favorável ao perfilhamento, que segundo Pedroso, (1980), é de 19°C a 34°C. A cultivar IAC 202 é uma cultivar do grupo moderno (Castro*), apresentando uma boa resposta ao uso de tecnologia mais avançada (Instituto Agrônomo de Campinas, 1998). Assim o aumento das doses de nitrogênio propiciaram aumentos no número de colmos por metro quadrado e conseqüentemente, de panículas.

A medida que se elevou as doses de nitrogênio ocorreu um aumento do número de colmos e de panículas por metro quadrado devido ao fato deste elemento participar das funções estruturais da planta: multiplicação e diferenciação celulares, herança gênica e constituição de tecidos (Malavota et al., 1997). Portanto, no presente trabalho, o aumento nas doses de nitrogênio provavelmente levaram à transformação de uma maior quantidade de gemas vegetativas em reprodutivas. Esses resultados estão de acordo com os relatos de Barbosa Filho et al. (1987 e 1991) e Fomasieri Filho & Fomasieri (1993), entretanto, diferem dos resultados encontrados por Arf (1993), que não obteve aumento do

* CASTRO, L. H. S. M. de. (Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agrônomo de Campinas). Comunicação pessoal, 2001.

número de panículas com aplicação de nitrogênio, devido provavelmente, às cultivares utilizadas pertencerem ao grupo tradicional, de baixa resposta à adubação nitrogenada.

Assim como o número de colmos, a porcentagem de colmo fértil (Quadro 2) não é um componente da produção. Essa variável expressa a porcentagem de colmos que realmente produziram panícula.

Na dose 150 mg de N/kg de solo foi encontrado a menor porcentagem de colmos férteis, diferindo significativamente das demais doses.

Segundo Barbosa Filho (1987 e 1991), altas doses de nitrogênio induzem à formação de um grande número de colmos e de folhas o que cria condições desfavoráveis à produção, tais como, sombreamento e acamamento.

A menor porcentagem de colmos férteis na maior dose de nitrogênio pode estar relacionado ao maior número de colmo produzido nessa dose. Ao iniciar a diferenciação do primórdio da panícula, está ocorrendo simultaneamente a alongação do colmo, estabelecendo desta forma uma competição por assimilado produzido pela planta. Da quantidade total de assimilado produzido, 60% é utilizado na alongação dos entrenós superiores e o restante para o crescimento das folhas e panículas jovens (Fornasier Filho & Fornasier, 1993).

Desta maneira, o maior número de colmos produzidos na dose de 150 mg de N (Quadro 2), contribuiu para um aumento do número de folhas, o que pode ter causado sombreamento, diminuindo a área fotossinteticamente ativa, ocasionando menor produção de assimilados (carboidratos). A quantidade de assimilado (carboidratos) produzido provavelmente, não foi suficiente para iniciar a diferenciação do primórdio da panícula,

crescimento da panícula e alongação do colmo. Isto fez com que alguns colmos produzissem panícula e outros não.

Para Diniz et al. (1976), a aplicação de nitrogênio na diferenciação do primórdio da panícula influencia o número de panículas aumentando a fertilidade dos colmos, ao passo que maior perfilhamento no estágio inicial de crescimento, estimulado pela aplicação de nitrogênio na semeadura não conduz diretamente em aumento no número de panículas.

Neste trabalho não foi observado acamamento nas doses mais altas de nitrogênio. Isto se deve à cultivar utilizada apresentar ótima resistência ao acamamento, além de seu baixo porte (Instituto Agronômico de Campinas, 1998).

Quanto ao número de panícula, os resultados encontrados no presente estudo para adubação silicatada, contrariam os obtidos por Barbosa Filho (1987) e Takahashi (1995), porém estão de acordo com os resultados encontrados por Carvalho (2000), e Deren et al. (1994), que também não encontram diferença estatística para esse componente.

Segundo Ma et al. (1989), o silício teria pouco efeito na fase vegetativa, onde este componente é definido. Como não é conhecida nenhuma molécula orgânica que contenha ou exija silício, ou tenha ligações conhecidas na natureza de Si-O-C ou Si-C (Exley, 1998), não é possível afirmar com exatidão o papel deste elemento na definição deste componente, uma vez que o mesmo (número de panículas) é dependente de processos físicos, como a densidade de semeadura, e biológicos, como germinação da semente e a capacidade de perfilhamento da cultivar, onde pouco se conhece a respeito do efeito do silício.

O número total de espiguetas é o segundo componente da produção. Esse componente é determinado na fase reprodutiva (Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993; Machado, 1994). A definição do número total de espiguetas inicia com a diferenciação da gema vegetativa em reprodutiva, dando origem ao primórdio da panícula, e termina no emborrachamento (Machado, 1994).

A dose de 150 mg de N/kg de solo proporcionou o maior número de espiguetas por panícula não diferindo estatisticamente da dose de 75 mg de N/kg de solo. Esse aumento pode estar relacionado a maior disponibilidade de nitrogênio para planta, uma vez que o nutriente está ligado à constituição de tecidos (Malavolta et al., 1997). Esses resultados contrariam os encontrados por Arf (1993), que não obteve aumento no número de espiguetas por panícula com o aumento dos níveis de adubação nitrogenada em diferentes épocas de cobertura. No entanto estão de acordo com Stone et al. (1999) e com os relatos de Barbosa Filho (1987), que obtiveram aumento no número total de espiguetas por panícula com o aumento da adubação nitrogenada.

Os resultados obtidos para o número de espiguetas por panícula, em função das doses de silício, discordam dos encontrados por Deren et al. (1994), Liang et al. (1994) e Barbosa Filho (1987), que obtiveram aumento no número de espiguetas por panícula. Entretanto, está de acordo com os encontrados por Carvalho (2000).

O número de espiguetas granadas, também apresentou diferença estatística para doses de nitrogênio, atingindo o maior valor na dose de 75 mg de N/kg de solo, diferindo significativamente da dose 5 mg de N/kg de solo. Esse resultado provavelmente pode estar relacionado à quantidade de assimilados (carboidratos) produzidos pelas plantas, o que foi suficiente para o enchimento de um número maior de espiguetas na

dose de 75 mg de N, enquanto na maior dose de nitrogênio esse não foi suficiente para suprir a demanda (Quadro 2), apesar de não diferirem entre si. Nenhuma diferença estatística foi encontrada para doses de silício, contrariando os relatos de Barbosa Filho (1987) e Barbosa Filho et al. (1998).

Segundo Ma et al. (1989), o estágio reprodutivo é mais afetado pela ausência de silício, com redução de até 40% no número de espiguetas granadas e 10% no número total de espiguetas por panícula. Segundo os mesmos autores, a deficiência de silício no estágio reprodutivo é prejudicial à fertilidade das espiguetas, porém nenhum mecanismo ou local de ação pelo qual o silício atua na fertilidade são conhecidos.

Para o número de espiguetas chochas houve efeito da interação NxSi. Analisando os resultados de doses de silício dentro das doses de nitrogênio (Quadro 3), verifica-se efeito na dose de 150 mg N, na qual o uso de 600 ng de SiO₂ proporcionou um menor número de espiguetas chochas. Esse resultado, fica melhor evidenciado através da Figura 1. Tal efeito pode ser explicado à melhora na arquitetura da planta (Deren te al., 1994), resultando em menor abertura do ângulo foliar, deixando as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, aumentando a taxa fotossintética sobretudo em condições de alta densidade populacional e altas doses de nitrogênio (Yoshida et al., 1969), como ocorrido no presente estudo. Segundo Yoshida et al. (1969), a combinação de altas doses de nitrogênio e ausência e ou baixa doses de silício tendem a deixar as folhas mais decumbentes, resultado de um maior ângulo de abertura foliar. Assim, como pode ser observado nas doses de 5 e 75 mg de N/kg de solo, o aumento dos níveis da adubação silicatada não alterou o número de espiguetas chochas, entretanto, na dose de 150 mg de N/kg de solo ocorreu uma diminuição, à medida que os níveis da adubação silicatada aumentaram (Figura1).

Quadro 3 – Desdobramento das interações (NxSi) significativas da análise de variância referente ao número de espiguetas chochas.

Doses de SiO₂ (mg kg⁻¹ de solo)				
Doses de N (mg / kg solo)	0*	200	400	600
5	6,28 b	5,30 b	6,92 b	9,38 a
75	10,02 b	9,64 b	10,06 b	13,94 a
150	26,00 a AB	27,96 a A	27,12 a AB	15,90 a B

* Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas doses de 5 e 75 mg de N/kg de solo o desenvolvimento vegetativo não foi tão vigoroso, demonstrado pelo número de colmos (Quadro 2), assim o efeito do silício na melhora da arquitetura da planta, não influenciou a taxa fotossintética. Quando se utilizou 150 mg de N/kg de solo, o desenvolvimento vegetativo foi bem vigoroso se comparado as demais doses de nitrogênio. Desta forma a silício pode ter melhorado o ângulo de abertura foliar, deixando as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, especialmente sob altas doses de nitrogênio (Yoshida et al., 1969). Esse aspecto pôde ser observado visualmente durante a condução do experimento, nos tratamentos que receberam as doses mais altas de nitrogênio.

Quanto ao desdobramento de doses de nitrogênio dentro das doses de silício (Quadro 3), houve efeito significativo nas doses 0, 200 e 400 mg de SiO₂, na qual a aplicação da maior dose de nitrogênio propiciou o maior número de espiguetas chochas. Segundo Wallace et al. (1976) o silício e o nitrogênio parecem competir pelos sítios de

ligação na planta, assim, à medida que aumentou os níveis da adubação nitrogenada, pode ter ocorrido uma menor entrada de silício. Isso pode ter feito com que a abertura do ângulo foliar fosse maior, ocasionando auto-sombreamento, diminuindo a área fotossinteticamente ativa, conseqüentemente a produção de assimilados.

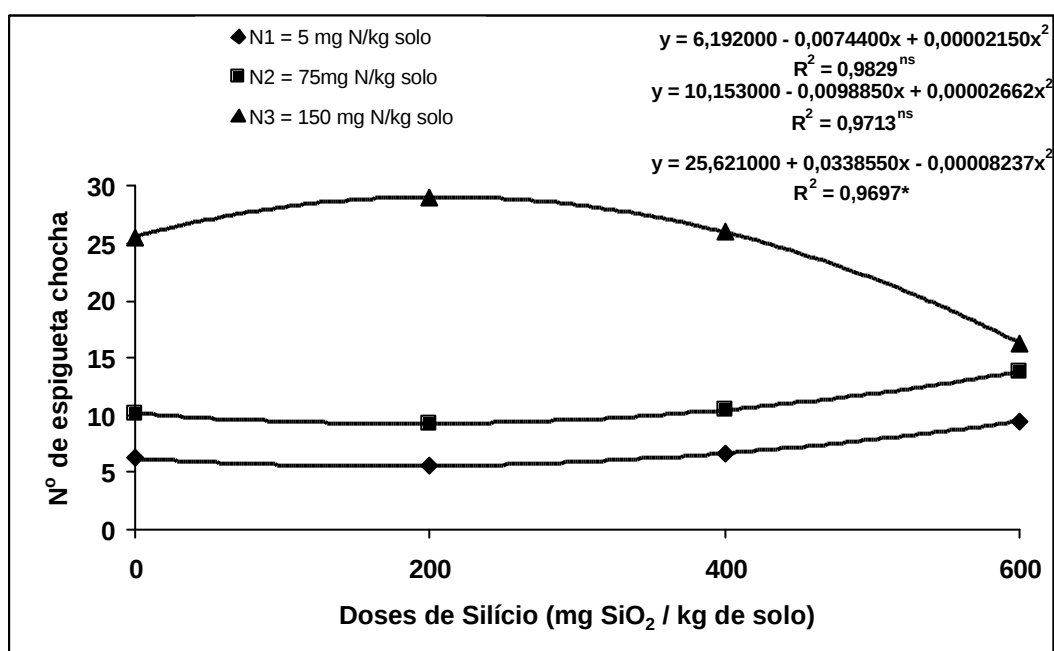


Figura 1: Número total de espiguetas chochas em relação as doses de silício e nitrogênio.

A fertilidade das espiguetas é uma variável que expressa a porcentagem de espiguetas que tornaram-se grãos. Segundo Machado (1994), a fertilidade das espiguetas é dependente da meiose do grão de pólen, da antese, da polinização, da fertilização e da translocação de carboidrato, sendo influenciado pelas condições ambientais ocorrentes, principalmente em torno de 10 dias antes e depois do florescimento, assim como de excessivas doses de adubos nitrogenados.

A fertilidade das espiguetas foi significativamente maior nas doses de 5 e 75 mg de N/kg de solo, diferindo significativamente da dose de 150 mg de N/kg de solo. Esse resultado, provavelmente, é decorrente do maior número de espiguetas chochas constatado na dose de 150 mg de N/kg de solo. Esta condição é devido ao fato de que na fase vegetativa havia grande quantidade de nitrogênio para a planta, aumentando assim seu perfilhamento e o número de panículas. Esse maior perfilhamento provocou sombreamento diminuindo a área fotossinteticamente ativa, e com isso, reduziu a produção de assimilados que seriam direcionados para o enchimento de grãos, elevando o número de espiguetas chochas e conseqüentemente reduziu a fertilidade das espiguetas.

No Quadro 4 estão os resultados da altura de plantas, massa de 1000 e produtividade de grãos. As doses de nitrogênio tiveram efeito sob essas variáveis, enquanto a adubação silicatada teve efeito significativo apenas para a massa de 1000 grãos.

Com relação à altura de plantas pode-se constatar que houve efeito significativo somente para doses de nitrogênio, não ocorrendo para doses de silício. Quanto a doses de nitrogênio utilizadas, a maior altura foi obtida com 75 mg de N/kg de solo, não diferindo significativamente da 150 mg de N/kg de solo.

Esses resultados discordam de Diniz et al. (1976) e Arf (1993) que constataram aumento na altura da planta com a aplicação de nitrogênio.

Quanto às doses de silício o cultivar IAC 202 não apresentou diferença significativa para altura de plantas. Esses resultados discordam dos encontrados por Yoshida et al. (1962), Takahashi (1995) e Carvalho (2000) que observaram aumento na altura de planta arroz com a aplicação de silício. Ainda, segundo os autores, o aumento na

altura das plantas é consequência de um maior comprimento da lâmina foliar, porém, neste estudo essa medida não foi efetuada.

Quadro 4 – Altura da planta, massa de 1000 grãos (g), produtividade (kg ha^{-1}) e altura das plantas (cm) em função da aplicação de N e Si.

Tratamento	Altura da Planta ⁽¹⁾	Massa de 1000 grãos	Produtividade de grãos
Doses de N (mg/kg solo)	cm	g	Kg ha^{-1}
5	62,2 b	25,2 a	5.114
75	64,1 a	22,0 b	7.890
150	62,4 ab	20,4 c	6.440
Doses de SiO ₂ (mg/kg solo)			
0	64,5	21,6 b	6.180
200	65,3	22,5 ab	6.500
400	65,8	23,2 a	6.650
600	63,3	22,8 ab	6.550
Valores de F ⁽²⁾			
Doses de N	3,73 *	58,58 **	16,48 **
Doses de Si	0,75 ns	3,56 *	0,28 ns
N x Si	0,60 ns	2,11 ns	0,88 ns
CV (%)	6,7	6,3	23,6

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

⁽²⁾ **, * e ns significativo a 1 %, 5% e não significativo.

A massa do grão, que é o quarto componente da produção, é um caráter varietal bastante estável, que depende do tamanho da casca determinada durante as duas semanas que antecedem a antese (Yoshida,1981), e do desenvolvimento da cariopse após o florescimento (Matsushima, 1970), portanto, depende das translocação 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).

O aumento da dose de nitrogênio diminuiu a massa de 1000 grãos, com diferença estatística entre as todas as doses, sendo a menor massa de grãos na dose de 150 mg de N/kg de solo, e o maior na dose de 5 mg de N/kg de solo.

A diminuição da massa de 1000 grãos, com o aumento das doses de nitrogênio (Quadro 4), pode ser devido ao fato da quantidade de assimilado (carboidrato) não ser suficiente para o enchimento de um número maior de espiguetas produzidas (Quadro 2). Esses resultados concordam com os de Arf (1993), que verificou uma redução na massa de 100 grãos para cultivar Rio Paranaíba de 0,0011gramas para cada kg de nitrogênio aplicado, entretanto discordam dos resultados encontrados por Stone et al. (1999), que não encontraram diferença estatística para a massa de 100 grãos com o aumento das doses de nitrogênio.

As doses de silício apresentaram diferença estatística para massa de 1000 grãos. O maior valor ocorreu na dose de 400 mg de SiO_2 , não ocorrendo diferença estatística para doses 200 e 600 mg de SiO_2 .

Com exceção da dose zero de SiO_2 , os valores encontrados para massa de grãos estão acima dos apresentado pelo Instituto Agronômico de Campinas para cultivar ICA 202 que é de 2,20 g para 100 grãos (Instituto Agronômico de Campinas 1998). O aumento da massa de grão obtida com adubação silicatada foi, provavelmente, devido a uma maior deposição de silício na casca, visto que a transpiração da panícula nesta fase é grande, e o transporte e deposição do silício dependem das taxas de transpiração dos

diferentes órgãos (Yoshida et al. 1962). Estando este órgão em desenvolvimento, a transpiração tende a ser maior, conseqüentemente o depósito de silício deve ter sido maior.

O aumento na massa de 1000 grãos (Figura 2) está de acordo com os resultados encontrados por Balastra et al. (1989), Deren et al. (1994), Komdörfer et al. (1999a) e Carvalho (2000), que também obtiveram aumento da massa de grãos utilizando adubação silicatada. Contudo, segundo Balastra et al. (1989), quando a casca foi retirada em seu trabalho, nenhuma diferença foi encontrada. Segundo Winslow (1992), a casca do arroz é o órgão que mais acumula silício, seguida pela folha bandeira e panícula.

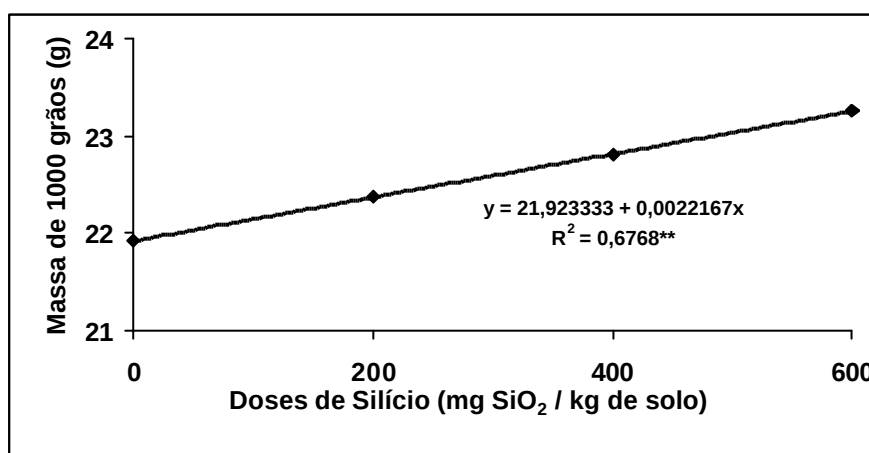


Figura 2: Massa de 1000 grãos em função das doses de silício.

Analisando os resultados de produtividade de grãos contido no Quadro 4, observa-se que a maior produtividade ocorreu com a dose de 75 mg de N/kg de solo, e que o aumento, acima dessa dose não foi seguido por um incremento na produtividade, mas sim por uma redução.

Altas doses de nitrogênio estimulam o perfilhamento e a formação de novas folhas causando sombreamento, condições favoráveis a doenças, acamamento e

queda na produtividade (Malavota & Fomasieri Filho, 1983; Barbosa Filho, 1987 e 1991). Nas condições experimentais, não ocorreram acamamento e doenças, assim a queda na produtividade com o aumento no nível da adubação nitrogenada, provavelmente pode ser devido à soma de diversos fatores, em especial ao elevado número de colmos que propiciou uma condição de sombreamento, diminuindo assim a área fotossinteticamente ativa, com isso a planta não teve carboidratos suficientes para o enchimento de todas as espiguetas alcançadas nesta dose (Quadro 2), contribuindo desta forma para o aumento do número de espiguetas chochas e diminuição da fertilidade, tornando a produtividade menor.

A maior produtividade alcançada com a dose de 75 mg de N/kg de solo (Quadro 4) foi devido ao maior número de espiguetas granadas, e baixo índice de espiguetas chochas, e um menor número de colmos em relação a maior dose de nitrogênio (Quadro 2), entretanto, com o mesmo número de panícula por metro quadrado. Assim a planta não sofreu sombreamento, pois seu perfilhamento foi menor, tendo assim fotoassimilados suficientes para o enchimento das espiguetas.

As doses de silício não afetaram a produtividade de grãos do arroz. Estes resultados discordam dos encontrados por Faria (2000), Barbosa Filho et al. (1998), Korndörfer & Datnoff (1995), Deren et al. (1994) e Liang et al. (1994), entretanto, estão de acordo com Carvalho (2000), que trabalhando com a mesma cultivar utilizada neste estudo (IAC 202), em condições de campo, também não obteve aumentos significativos.

Apesar de não significativo, constata-se um aumento da ordem de 8% ou 479 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos, quando se utilizou 400 mg de SiO₂/kg de solo em relação à dose zero (Quadro 4). Esse aumento na produtividade está próximo ao alcançado por Barbosa Filho et al. (1998), que verificaram 9,4% em condições de campo com a

utilização de 400 kg ha⁻¹ de adubação silicatada, enquanto Carvalho (2000), obteve ganhos de até 700 kg ha⁻¹ utilizando silicato de cálcio como fonte de silício.

6.2 Produção de matéria seca e teor de macronutriente.

No Quadro 5, estão contidos os resultados da produção de matéria seca (kg ha⁻¹) e dos teores de macronutrientes (g kg⁻¹) em função das doses de nitrogênio e silício. A matéria seca da parte aérea apresentou diferença significativa para todos os níveis de adubação nitrogenada. Os aumentos nos níveis da adubação nitrogenada foram acompanhados por aumentos dos níveis de matéria seca, sendo o maior valor obtido na dose de 150 mg N e o menor na dose de 5 mg de N por kg de solo.

O nitrogênio participa de diversos processos na planta, entre eles divisão celular, constituição de tecidos, assim como estimula ou número de colmo (Malavolta et al., 1997). Desta forma, o aumento na produção de matéria seca (Quadro 5) devido ao incremento da adubação nitrogenada, pode ser justificado ao estímulo deste nutriente à produção de tecido vegetal, notado pelo aumento do número de colmo, como apresentado no Quadro 2.

As doses de silício não apresentaram diferenças significativas para produção de matéria seca. Esses resultados estão de acordo com os relatos de Tanaka & Park (1966), Liang et al. (1994) e Carvalho (2000), de que o acúmulo de matéria seca é pouco influenciado pela adubação silicatada.

As doses de nitrogênio propiciaram diferenças significativas para todos o macronutrientes com exceção do magnésio, enquanto as doses de silício apenas para

cálcio e magnésio. Não houve efeito significativo da interação nitrogênio x silício para nenhum dos macronutrientes.

Quadro 5 - Produção de matéria seca (kg ha^{-1}) e teor de macronutrientes (g kg^{-1}), em função da aplicação de N e Si.

Tratamento	Matéria	Nutrientes (g kg ⁻¹)					
	Seca ⁽¹⁾ (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
Doses de N (mg/kg solo)							
5	5371 c	27,6 c	2,3 a	14,8 c	6,4 a	2,3	2,3 b
75	7371 b	30,0 b	2,2 b	16,4 b	5,0 b	2,6	2,5 ab
150	8491 a	33,5 a	2,1 b	18,4 a	5,1 b	2,5	2,7 a
Doses de SiO ₂ (mg/kg de solo)							
0	6981	30,6	2,2	17,0	4,8 b	2,2 b	2,5
200	6780	30,3	2,2	16,6	5,7 ab	2,5 ab	2,5
400	7490	30,6	2,2	16,6	6,4 a	2,8 a	2,6
600	6990	30,0	2,1	16,0	5,0 b	2,2 b	2,5
Valor de F ⁽²⁾							
Doses de N	57,75 **	42,21 **	7,35 **	22,67 **	9,39 **	2,51 ns	7,76 **
Doses de Si	1,53 ns	0,29 ns	1,06 ns	0,98 ns	5,66 **	6,08 **	0,19 ns
N x Si	1,43 ns	1,66 ns	1,26 ns	1,33 ns	1,78 ns	2,01 ns	1,18 ns
CV (%)	13,3	6,7	10,5	16,5	21,2	18,2	14,5

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

⁽²⁾ **, * e ns significativo a 1% e 5%, ** - não significativo.

Os teores de nitrogênio na folha bandeira das plantas de arroz para todos os níveis da adubação nitrogenada estiveram sempre na faixa adequada ($27\text{-}35 \text{ g kg}^{-1}$)

segundo Raij et al. (1996). O maior teor de nitrogênio foi obtido na dose de 150 mg de N, e o menor na dose de 5 mg de N/kg de solo.

Islam & Saha (1969) obtiveram uma redução nos teores de nitrogênio à medida que o nível da adubação silicatada foi aumentado, porém Carvalho (2000) não obteve diferença significativa, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho. Isto se deve provavelmente às plantas possuírem mecanismo específico para absorção de nitrogênio, enquanto que para o silício pouco se conhece, e até mesmo o mecanismo ou processo pelo qual o elemento é absorvido ainda geram divergências na literatura (Vorn, 1980; Mengel & Kirkby, 1987). Outro fator importante é que a cultivar IAC-202, e do grupo moderno, portanto apresenta melhor resposta a adubação nitrogenada do que as cultivares do grupo tradicional.

Houve efeito significativo para teor do fósforo na planta em função das doses de nitrogênio aplicado. Entretanto, não foi observado a mesma tendência do acúmulo de matéria seca e teor de nitrogênio. O teor de fósforo na planta na dose de 5 mg de N foi significativamente maior que nas doses de 75 mg e 150 mg de N por kg de solo.

O aumento da matéria seca nos níveis mais altos da adubação nitrogenada (Quadro 5) fez com que o teor de fósforo na planta ficasse diluído, entretanto, quando a matéria seca foi menor, o teor de fósforo foi mais elevado, mostrando que a menor quantidade de matéria seca produzida, na menor dose de nitrogênio devido ao menor número de colmo (Quadro 2), fez com que o nutriente ficasse mais concentrado. O efeito de diluição fica mais evidente quando se analisa o teor encontrado (Quadro 5) com os teores adequados, que são de 1,8 a 3,0 g kg⁻¹ segundo Raij et al. (1996). Para todos os níveis de adubação nitrogenada os teores de fósforo nas plantas estiveram sempre dentro da faixa recomendada.

Não houve efeito significativo da adubação silicatada nos teores de fósforo na planta. Os teores se mantiveram dentro da faixa ideal recomendada para a cultura.

Esses resultados discordam dos encontrados por Islam & Saha (1969), que observaram aumentos nos teores de fósforo na planta com o aumento nos teores de silício na solução nutritiva, ocorrendo uma queda a partir de 100 mg dm^{-3} de silício na solução, na fase reprodutiva. Carvalho et al. (2000) atribuíram um pequeno aumento da matéria seca de plantas de eucalipto tratadas com silício, a uma maior absorção de fósforo. Segundo os autores isto foi devido à dessorção do fósforo no solo, sendo maior no Cambissolo do que em Latossolo. Entretanto para Savant et al. (1997a), o silício não aumentaria diretamente a disponibilidade de fósforo no solo, mas aumentaria a taxa de P:Mn na planta, devido à diminuição na absorção de Fe e Mn e, assim, indiretamente uma melhor utilização do fósforo dentro da planta.

Os teores de potássio na planta apresentaram a mesma tendência do nitrogênio. À medida que se aumentou a dose de nitrogênio houve um aumento nos teores de potássio, isso provavelmente se deve ao sinergismo entre os elementos. Aumento nos teores de potássio a medida que os níveis de adubação nitrogenada são elevados é considerado normal em gramíneas (Lopes, 1998).

As doses de silício não tiveram efeito significativo nos teores de potássio na plantas. Esses resultados concordam com Carvalho (2000), porém discordam dos encontrados por Islam & Saha (1969), que observaram uma queda no teor de potássio na planta devido ao aumento da concentração de silício na solução nutritiva.

Os teores de potássio do presente estudo estiveram sempre dentro da faixa adequada para cultura, que segundo Raij et al. (1996) é de $13 \text{ a } 30 \text{ g kg}^{-1}$ (Quadro 5).

Os teores de cálcio foram significativamente influenciados pelas doses de nitrogênio (Quadro 5), enquanto os teores de magnésio não apresentaram nenhuma diferença significativa. O maior teor de cálcio na planta foi encontrado dose de 5 mg de N diferindo significativamente das demais.

A diminuição nos teores de cálcio com o aumento das doses de nitrogênio pode estar ligada ao efeito sinérgico do nitrogênio e potássio, assim à medida que aumentou a absorção de nitrogênio, houve um estímulo à absorção de potássio (Lopes, 1998). O cálcio compete pelo mesmo sítio de ligação na planta que o potássio, porém sua velocidade de caminhamento na água em relação ao potássio é menor (Malavolta, 1980). Outro fator importante que podem ter influenciado a diminuição dos teores de cálcio nas plantas de arroz é o fato dessas produzirem amido, sendo assim, mais exigentes em potássio (Malavolta, 1980). Segundo Büll et al. (1993), as raízes das gramíneas apresentam baixa CTC, tendo preferência na absorção de cátions monovalentes.

A elevação da adubação nitrogenada não alterou significativamente os teores de magnésio da planta (Quadro 5). Sabendo que parte do magnésio absorvido é encontrado na clorofila, uma possível explicação para este fato talvez resida na maior disponibilidade e consumo de nitrogênio, o que normalmente não levam as plantas produzirem clorofila além do que necessitam (Malavolta et al., 1997).

A adubação silicatada influenciou os teores de cálcio e magnésio nas plantas de arroz. Observa-se que tanto para cálcio como magnésio, à medida que aumentou os níveis da adubação silicatada, houve aumento significativo nos teores dos elementos até, aproximadamente a dose de 320 mg de SiO₂ por kg de solo, ocorrendo uma diminuição a partir deste valor (Figuras 3 e 4).

O aumento nos teores de cálcio nas plantas de arroz (Quadro 5) foi provavelmente devido a uma maior disponibilidade deste elemento em função da fonte de silício utilizada ser o silicato de cálcio, entretanto, os teores de magnésio tiveram a mesma tendência de aumento, o que provavelmente não era de se esperar, uma vez que ambos elementos competem pelo mesmo sítio de ligação na plantas, porém, vale ressaltar que tanto o silicatado de cálcio como o calcário utilizado, apresentam em suas composições porcentagem de magnésio, o que pode ter contribuído para a elevação do teor do elemento na matéria seca.

Esses resultados concordam com Islan & Saha (1969), que encontraram aumentos nos teores de cálcio e magnésio em plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva, porém, discordam de Carvalho (2000), que não encontrou diferença significativa, nos teores de cálcio e magnésio, com o aumento dos níveis da adubação silicatada. Os teores de cálcio e magnésio, permaneceram na faixa adequada ($2,5$ a $10,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,5$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$) (Raj et al., 1996), independente dos tratamentos .

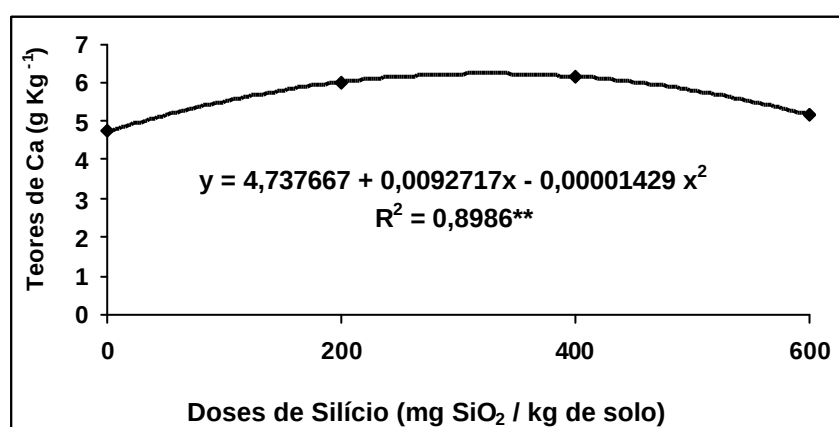


Figura 3: Teores de cálcio na planta em função das doses de silício.

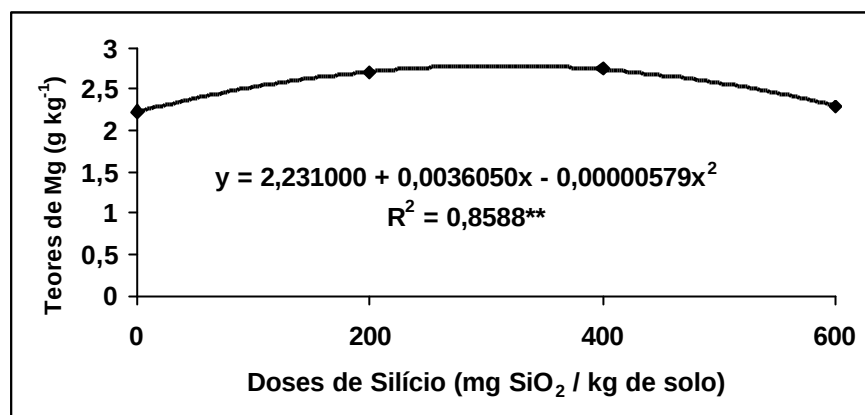


Figura 4: Teores de magnésio na planta em função das doses de silício.

Para o teor de enxofre na planta (Quadro 5), as doses de nitrogênio afetaram significativamente. O maior teor foi encontrado na dose de 150 mg de N, diferindo estatisticamente da dose de 5 mg de N e ambas não diferiram da dose de 75 mg de N por kg de solo.

O aumento no teor de enxofre na planta, à medida que se aumentou os níveis de adubação nitrogenada, pode ser devido ao fato do enxofre estar intimamente relacionada às quantidades de nitrogênio disponível para as culturas. Ambos, nitrogênio e enxofre, são constituintes das proteínas, além do enxofre estar relacionado na atividade da enzima redutase do nitrato, a qual é necessária para a conversão de N-NO_3 em aminoácidos nas plantas (Lopes, 1998). Desta forma a maior absorção de nitrogênio, necessitou de uma maior absorção de enxofre.

Com relação às doses de silício não houve efeito nos teores de enxofre na plantas, e os níveis estiveram sempre dentro da faixa adequada para a cultura 1,4 a 3,0g/kg, (Raij et al., 1996)

6.3 Teor de Silício no Solo e na Planta.

Os resultados dos teores de silício no solo, na planta e quantidade de silício extraído, estão apresentados no Quadro 6. As doses de nitrogênio apresentaram efeito significativo nos teores de silício na planta e na quantidade silício extraído, enquanto as doses de silício foram significativas para as três variáveis. Houve interação entre doses de nitrogênio x doses de silício, para silício na planta e silício extraído.

As doses de nitrogênio não afetaram significativamente os teores de silício no solo. Isto se deve provavelmente ao ácido monossilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$ ser um ácido fraco, desprovido de cargas (McKeague & Cline, 1963; Raij & Camargo, 1973) estando em solução, desta forma não competindo com o nitrogênio por sítios de ligações no solo.

O menor teor de silício no solo $5,9 \text{ mg dm}^{-3}$ (Quadro 6) foi encontrado na dose zero de SiO_2 por kg de solo. Esse valor refere-se ao silício existente no solo do estudo. Trabalhando em casa de vegetação com a cultivar IAC-165, Korndörfer et al. (1999b), concluíram que o nível de suficiência de silício no solo para se atingir 90% da produtividade máxima foi de $9,8 \text{ mg dm}^{-3}$, bem acima do teor encontrado neste estudo. Para Snyder (1991), solos com teores menores que 10 mg dm^{-3} , deveriam receber adubação silicatada, enquanto solos com valor acima de 15 mg dm^{-3} não necessitariam desta adubação.

Observa-se no Quadro 4 que a menor produtividade de arroz foi obtida na dose zero de silício, estando o teor de silício no solo nesta dose (Quadro 6) abaixo dos valores indicado por Korndörfer et al. (1999b) e Snyder (1991). Isto se deve provavelmente aos baixos teores de silício encontrados nos solos de regiões tropicas (Malavolta, 1980), resultado do avançado grau de intemperização do solo dessas regiões onde

o Si é encontrado basicamente na forma de quartzo, opala e outras formas não-disponíveis às plantas (Barbosa Filho et al., 2001), além dos altos teores de óxidos de alumínio e ferro, que são os principais responsáveis pela adsorção de silício na solução do solo (Mengel & Kirkby, 1987), diminuição desta maneira a disponibilidade de silício para as plantas.

Quadro 6 – Teores de silício no solo (mg dm^{-3}) na planta (g kg^{-1}), e quantidade de silício extraído (g m^{-2}) em função da aplicação de N e Si.

Tratamento	Silício no solo⁽¹⁾	Silício na planta	Silício extraído
Doses de N (mg/kg solo)	(mg dm^{-3})	(g kg^{-1})	(g m^{-2})
5	20,0	26,2	13,82
75	21,9	13,2	9,63
150	24,5	16,6	9,86
Doses de SiO₂ (mg/kg solo)			
0	5,9 c	8,5	5,58
200	14,0 bc	15,5	9,34
400	23,5 b	19,4	13,73
600	45,1 a	24,7	15,78
Valores de F⁽²⁾			
Doses de N	0,99 ns	131,3 **	32,11**
Doses de Si	40,77 * *	72,2 **	90,19 **
N x Si	0,95 ns	6,9 **	4,08 **
CV (%)	46,3	18,3	16,7

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

⁽²⁾ **, * e ns significativo a 1% e 5 % – não significativo.

Na dose de 400 mg de SiO₂ por kg de solo o teor de silício no solo foi de 23,5 mg dm^{-3} (Quadro 6), estando o valor na faixa considerada como alta por Korndörfer et al. (1999d) e Snyder (1991). Nota-se através do Quadro 4 que nesta dose foi obtida a maior

produtividade de grãos, com um aumento de 8%, apesar desta não diferir estatisticamente da dose zero. Essa maior produtividade pode ser devido ao incremento no teor de silício no solo, aumentando a disponibilidade deste elemento para as plantas de arroz.

Savant et al. (1997a), atribuíram a queda da produtividade do arroz em várias regiões do mundo a uma possível diminuição do teor de silício no solo. Segundo Savant et al. (1997b), três fatores podem estar envolvidos neste fenômeno: muitos solos de áreas produtoras de arroz de região tropicais e sub-tropicais apresentam graus variados de desilificação, a cinética de dissolução do silício no solo é muito lenta, e o silício da solução do solo é sorvido por sesquióxidos que estão presentes em muitos solos tropicais.

A Figura 5 mostra o comportamento dos teores de silício no solo, à medida que os níveis da adubação silicatada foram aumentados. Observa-se que o aumento poderia ser ainda maior se doses maiores de silício fossem utilizadas, mostrando-se o material como uma boa fonte de silício para as plantas.

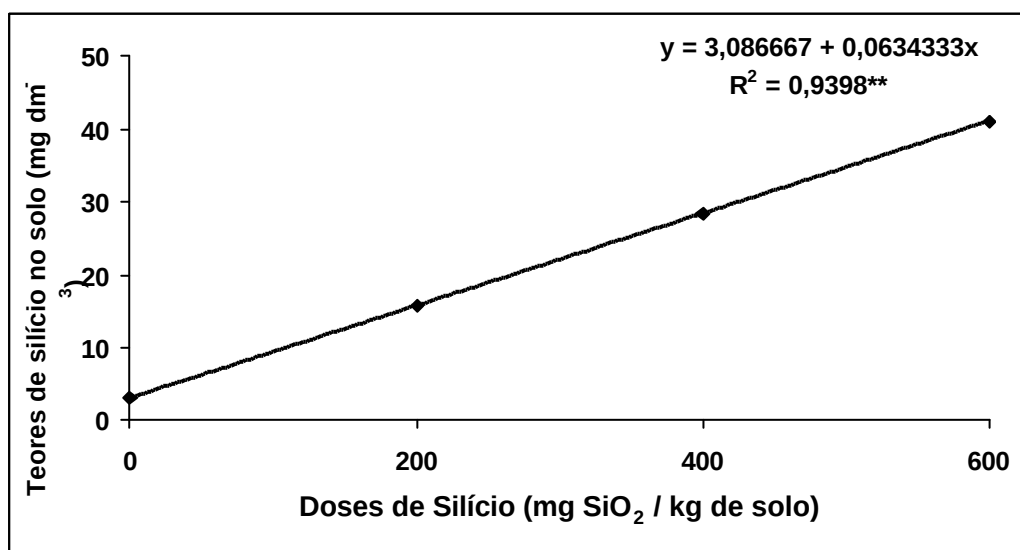


Figura 5: Teores de silício no solo em função dos níveis da adubação silicatada.

Para o teor de silício na planta, houve efeito significativo da interação doses de nitrogênio e doses de silício, estando o desdobramento apresentado no Quadro 7. Analisando-se os valores das doses de silício dentro das doses de nitrogênio, verifica-se efeito significativo para todas as doses de nitrogênio. Na dose de 5 mg N o maior teor de silício ($38,1 \text{ g kg}^{-1}$) foi encontrado na doses de 600 mg de SiO_2 . Na dose de 75 mg ocorreu o maior teor de silício ($20,4 \text{ g kg}^{-1}$) na maior dose da adubação silicatada, entretanto essa não diferiu estatisticamente da dose de 400 mg de SiO_2 . Na dose de 150 mg N por kg de solo, houve resposta significativa até doses 200 mg de SiO_2 .

Quadro 7 – Teor de silício na planta, em função da aplicação de N e Si (desdobramento das interações significativas da análise de variância).

Doses de N (mg / kg solo)	Doses de Silício (mg SiO_2 / kg solo)*			
	0	200	400	600
	-----g kg^{-1} -----			
5	12,2 a C	24,5 a B	29,9 a B	38,1 a A
75	6,2 b C	11,4 b BC	14,6 b AB	20,4 b A
150	6,8 b B	10,6 b AB	13,5 b A	15,5 c A

* Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando o desdobramento de doses de nitrogênio dentro das doses de silício observa-se efeito significativo em todas os níveis da adubação silicatada. Nota-se que aplicação da dose 75 e 150 mg de N propiciaram os menores teores de silício na planta em todos níveis da adubação silicatada.

Os teores de silício na planta são classificados em baixo quando for menor que 17 g kg^{-1} , médio de 17 a 34 g kg^{-1} e altos acima de 34 g kg^{-1} (Korndörfer et al.

1999d). Observa-se no Quadro 7 que teor de silício mais alto foi encontrado na menor dose da adubação nitrogenada combinada com a maior dose da adubação silicatada.

Como pode ser observado na Figura 6, à medida que se aumentou a dose de nitrogênio houve uma diminuição dos teores de silício na planta para todos os níveis da adubação silicatada.

Quando o nível da adubação nitrogenada foi baixo (Quadro 7), os teores de silício na planta tiveram aumentos mais pronunciados quando comparados com as doses mais elevadas de nitrogênio. Entretanto, quando o nível da adubação nitrogenada foi aumentado, os ganhos nos teores de silício foram menores mesmo com o incremento do nível da adubação silicatada.

Os resultados encontrados neste estudo estão de acordo com Wallace (1989), que concluiu que o nitrogênio diminuiu a concentração de silício nas plantas de arroz. Outro importante fator que pode contribuir para uma menor absorção de silício na presença de nitrogênio, é o tipo de cultivar utilizado. Cultivares como a IAC-202 do grupo moderno tendem a responder mais à adubação nitrogenada do que as cultivares do grupo tradicional. Segundo Winslow (1992), cultivares tradicionais de arroz apresentam maior eficiência na absorção de silício. Cabe lembrar que os genótipos de arroz diferem bastante quanto a sua capacidade de absorver silício (Winslow, 1992; Barbosa Filho et al., 1998).

Para Wallace et al. (1992), plantas onde a absorção de cátions é igual a de ânions a absorção de silício é relativamente pequena. Quando a absorção de cátions é maior que a ânions, a solubilidade do silício é diminuída, entretanto quando a absorção ânions é maior que a de cátions a solubilidade do silício aumenta

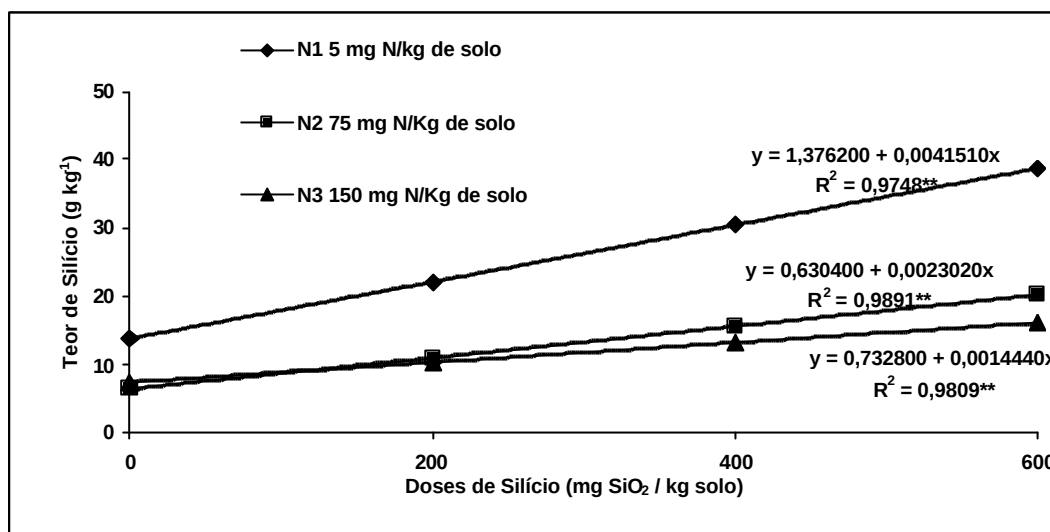


Figura 6: Teores de silício na planta em função dos diferentes níveis de adubação silicata.

Houve efeito significativo da interação silício e nitrogênio para quantidade de silício extraído, estando o desdobramento apresentado no Quadro 8.

Analisando-se os valores doses de silício dentro das doses de nitrogênio, verifica-se efeito significativo para todas as doses de nitrogênio. Para os três níveis da adubação nitrogenada, as maiores quantidades de silício extraídas, foram alcançadas na dose de 600 mg de SiO₂. Analisando o desdobramento das doses de nitrogênio dentro das doses de silício, observa-se efeitos significativos, nas doses de 400 e 600 mg de SiO₂, nos quais o aumento dos níveis da adubação nitrogenada propiciaram diminuição na quantidade de silício extraído.

Como pode ser observado no Quadro 8, a quantidade de silício extraído apresentou a mesma tendência do teor de silício na planta (Quadro 7). À medida que os níveis da adubação silicatada foram aumentados, ocorreu um aumento na quantidade de silício extraído. Porém quando os níveis da adubação nitrogenada são aumentados, dentro de

cada dose de silício aplicado ao solo, ocorre uma diminuição das quantidades de silício extraído, sendo maior nos níveis mais altos da adubação nitrogenada.

Quadro 8 – Quantidade de silício extraído, em função da aplicação de N e Si (desdobramento das interações significativas da análise de variância)

Doses de Silício (mg SiO₂ / kg solo)*				
Doses de N	0	200	400	600
(mg / kg solo)	----- g m² -----			
5	6,70 C	10,61 B	18,18 a A	19,81 a A
75	4,20 C	8,68 B	11,11 b AB	14,54 b A
150	5,86 C	8,72 BC	11,91 b AB	12,97 b A

* Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Além dos fatores mencionados anteriormente por Wallace et al. (1976) e Wallace (1989 e 1992), outro fator para a queda tanto na quantidade de silício extraído como para o teor de silício na planta seria o efeito de diluição. Observando-se o Quadro 5, nota-se um aumento na produção de matéria seca à medida que os níveis da adubação nitrogenada foram sendo incrementados.

6.4 Estudo Anatômico da folha do arroz.

Os resultados do estudo anatômico da folha bandeira da planta de arroz estão ilustrados nas Figuras 7 a 10.

Nota-se que a elevação dos níveis da adubação nitrogenada, promoveu uma diminuição na altura das projeções da parede externa das células epidérmicas,

em ambas as superfícies foliares. Essa diminuição na altura de projeção em função dos níveis de adubação nitrogenada e silicatada, foi mais nítida nas plantas dos tratamentos com 400 mg de SiO_2 (Figuras 9A a F).

Nas doses mais altas de silício (400 e 600 mg de SiO_2), foram observados, com maior frequência corpos de sílica, tanto nas células do parênquima clorofiliano, como na superfície das células epidérmicas (Figuras 9 B e D; 10 B, D e F).

No presente trabalho, embora a técnica utilizada para o estudo anatômico não seja específico para indicar a presença de sílica na parede celular, a estrutura das projeções da parede externa das células da epiderme é bastante semelhante a ilustrada por Yoshida et al. (1962) e Balastra et al. (1989), em plantas de arroz.

Yoshida et al. (1962), descrevem a face externa das células epidérmicas como sendo composta de duas camadas: uma camada mais externa, que corresponde a sílica e cutícula, e uma mais interna que corresponde a sílica-celulose. Segundo os autores, a espessura da camada de sílica varia conforme a disponibilidade de silício.

A presença da camada de sílica na parede externa da epiderme tem sido diretamente associada com a resistência das plantas a doenças fúngicas (Yoshida et al., 1962, Del Giudece et al. 1979, Barbosa Filho et al., 2001) e diminuição da transpiração (Yoshida et al. 1959, Yoshida et al., 1962, Horiguchi, 1988, Agarie et al., 1998b).

Os resultados do estudo anatômico, no que se refere a altura e frequência das projeções da parede das células epidérmicas, acompanham os resultados apresentados no Quadro 7, onde o aumento nos níveis da adubação nitrogenada foi acompanhado da diminuição dos teores de silício na planta.

Embora neste trabalho as Figuras não mostrem com nitidez a presença de diversas camadas na parede externa das células epidérmicas (incluindo cutícula, provável camada de sílica e sílica-celulose), estas camadas são perfeitamente visíveis nos cortes histológicos corados com azul de toluidina.

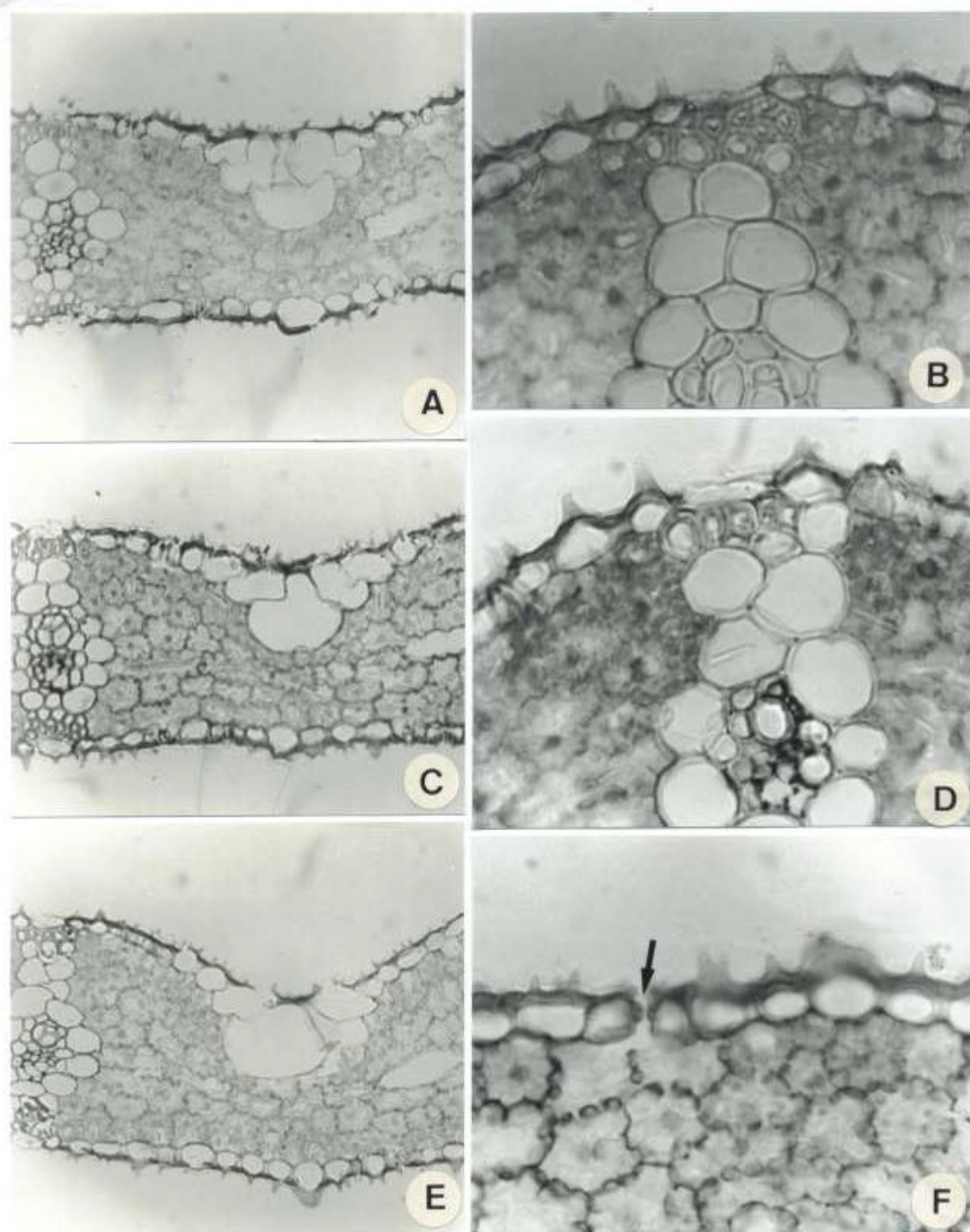


Figura 7: Cortes transversais do limbo da folha bandeira de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Fig. A:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 5 mg de N e zero de SiO₂ (x400). **Fig. B:** Detalhe de A, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). **Fig. C:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 75 mg de N e zero de SiO₂ (x400). **Fig. D:** Detalhe de C, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). **Fig. E:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 150 mg de N e zero de SiO₂ (x400). **Fig. F:** Detalhe de E, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). Observam-se projeções das células epidérmicas nas adjacências do aparelho estomático(seta) (x1000)

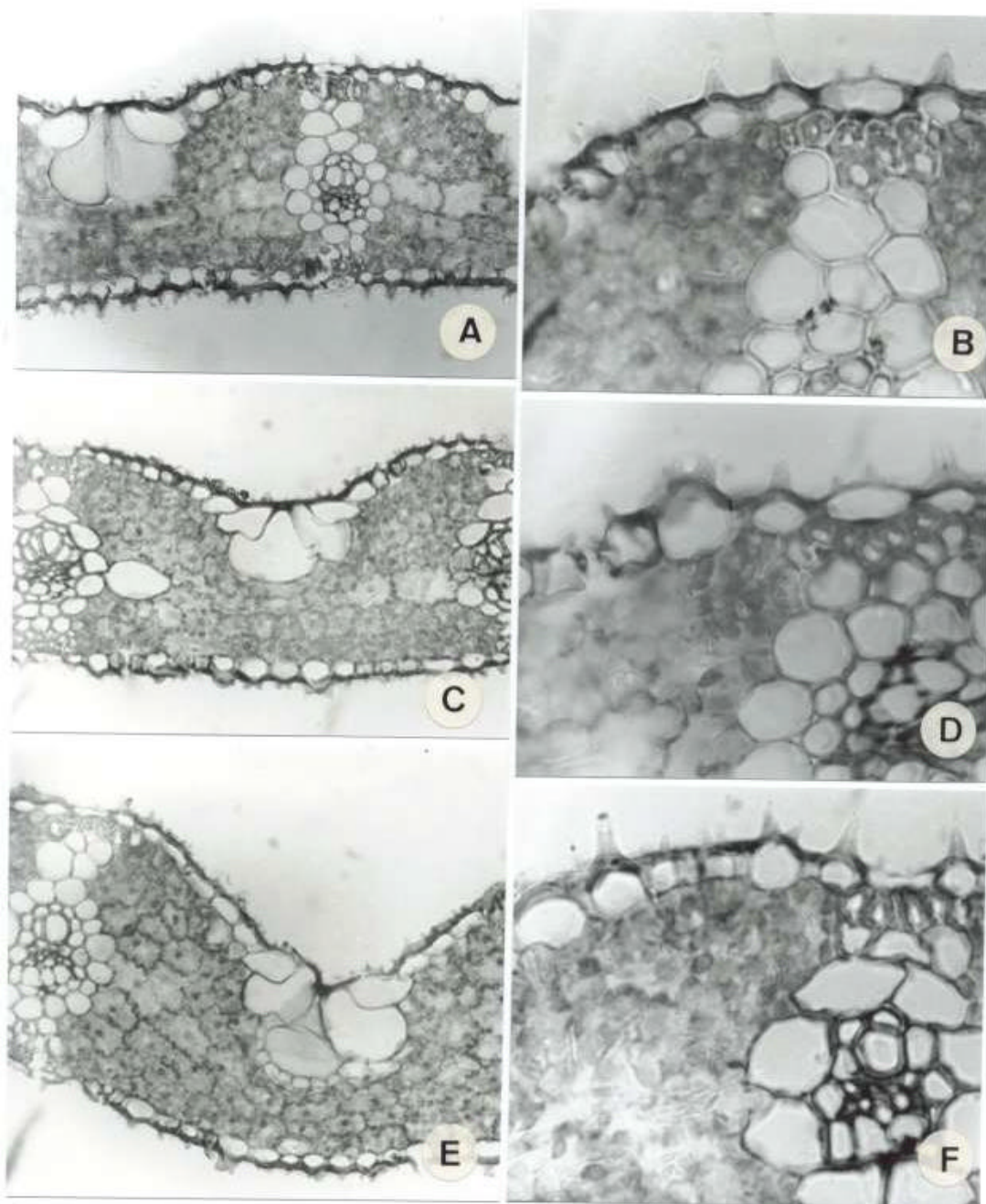


Figura 8: Cortes transversais do limbo da folha bandeira de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Fig. A:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 5 mg de N e 200 mg de SiO₂ (x400). **Fig. B:** Detalhe de A, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). **Fig. C:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 75 mg de N e 200 mg de SiO₂ (x400). **Fig. D:** Detalhe de C, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). **Fig. E:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 150 mg de N e 200 mg de SiO₂ (x400). **Fig. F:** Detalhe de E, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000).

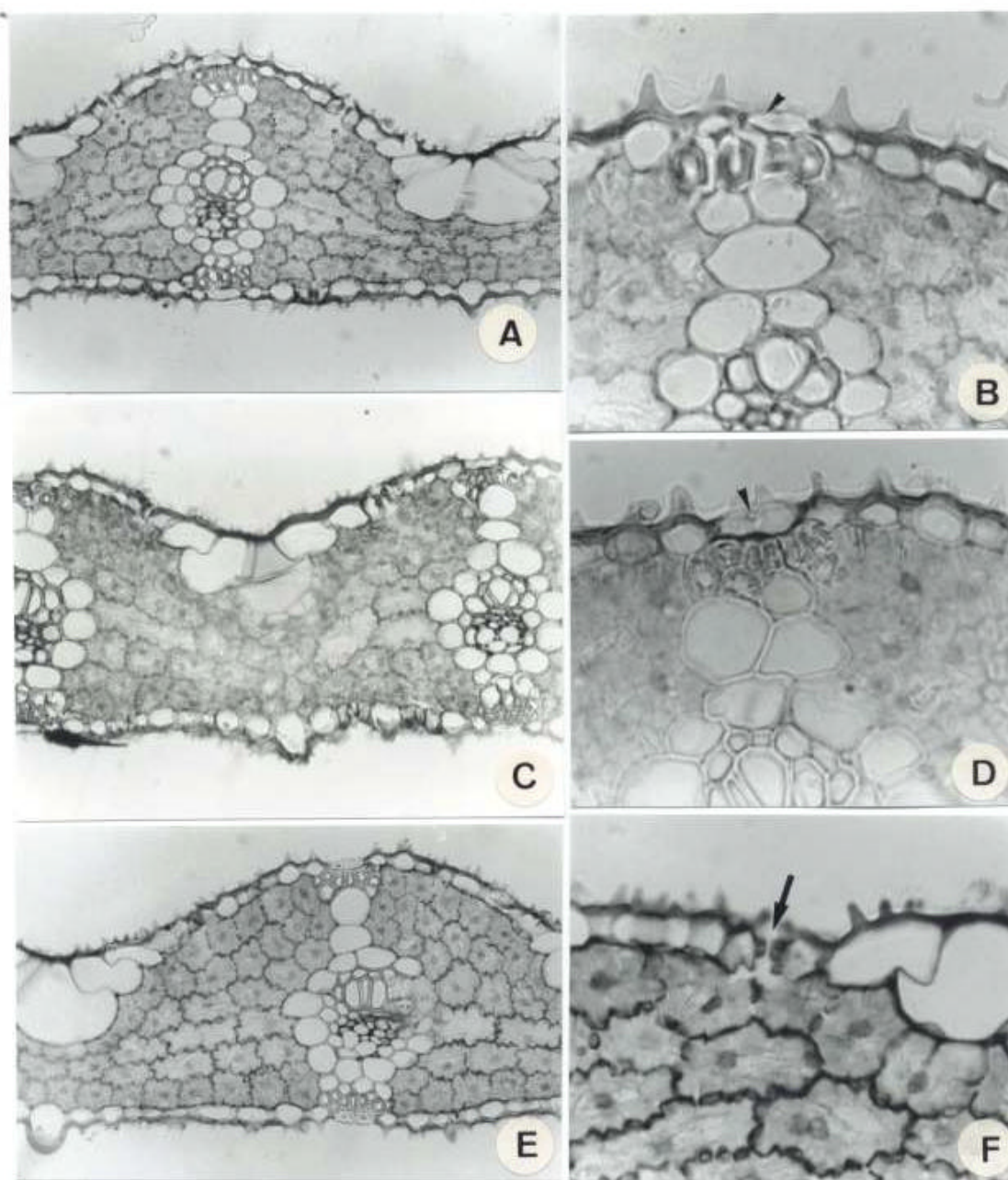


Figura 9: Cortes transversais do limbo da folha bandeira de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Fig. A:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 5 mg de N e 400 mg de SiO_2 (x400). **Fig. B:** Detalhe de A, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). **Fig. C:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 75 mg de N e 400 mg de SiO_2 (x400). **Fig. D:** Detalhe de C, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). **Fig. E:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 150 mg de N e 400 mg de SiO_2 (x400). **Fig. F:** Detalhe de E, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). A seta em F indica o aparelho estomático. As pontas das setas em B e D indicam corpos de sílica esféricos.

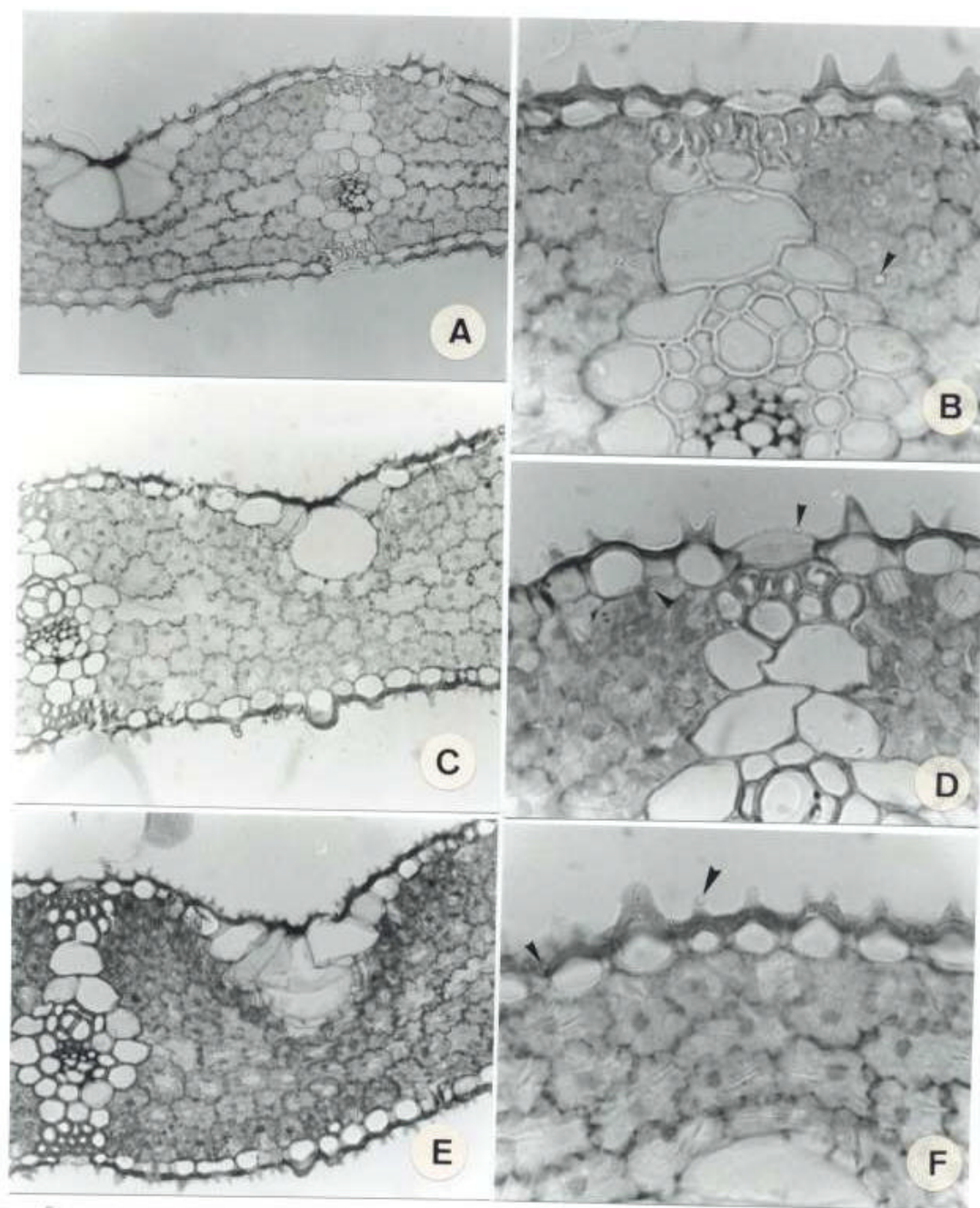


Figura 10: Cortes transversais do limbo da folha bandeira de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Fig. A:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 5 mg de N e 600 mg de SiO_2 (x400). **Fig. B:** Detalhe de A, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). **Fig. C:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 75 mg de N e 600 mg de SiO_2 (x400). **Fig. D:** Detalhe de C, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). **Fig. E:** Aspecto geral do limbo foliar de plantas tratadas com 150 mg de N e 600 mg de SiO_2 (x400). **Fig. F:** Detalhe de E, mostrando projeções da parede externa da epiderme na face adaxial (x1000). As pontas das setas em B, D e F indicam corpos de sílica esféricos.

7 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada aumenta o número de colmos e panículas por metro quadrado, o número total de espiguetas e a produtividade, enquanto que a porcentagem de colmos férteis, fertilidades das espiguetas e a massa de grãos diminui.

A adubação silicatada, aumenta a massa de 1000 grãos, porém nenhum efeito é observado nos demais componentes da produção.

O aumento dos níveis de adubação nitrogenada, diminuiu os teores de silício na plantas, assim como a deposição de silício na parede externa das células da epiderme das folhas de arroz.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

AGARIE, S., HANAOKA, N., UENO, O., MIYAZAKI, A., KUBOTA, F., AGATA, W., KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Prod. Sci.*, v.1, p.96-103, 1998a.

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. Sci.*, v.1, p.89-95, 1998b.

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

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

* UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agronômicas. *Normas para a elaboração de dissertações e teses*. Botucatu, 1997. 35p.

- BALASTRA, M.L.F., PEREZ, C.M., JULIANO, B.O, VILLREAL, P. Effects of sílica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hult. *Can. Jo. Bot*; v.67, p.2356-63, 1989.
- BARBOSA FILHO, M.P. *Nutrição e adubação do arroz*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 127p.
- BARBOSA FILHO, M.P. Adubação do arroz de sequeiro. *Inf. Agropecu*; n. 14 p.32-8, 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 (uma revisão de literatura). *Inf. Agron*; n.89, p.1-8, 2000.
- BARBOSA FILHO, M.P., SNYDER, G.H., ELLIOTT, C.L., DATNOFF, L.E., PRABHU, A.S., SILVA, O.F.da., KORNDÖRFER, G.H. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FERTBIO 1998, Caxambu. *Anais...* Lavras: Universidade Federal de Lavras / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1998. p.57
- BARBOSA FILHO, M.P., SNYDER, G.H., FAGERIA, N.K., DATNOFF, L.E., SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.25, p.325-30, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. *Regras para análise de sementes*. Brasília; 1992. 365p.
- BÜLL, T.L., MELLO, F.d. A.F. d., SOARES, E., BOARETTO, A.E. Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio

por gramíneas e leguminosas forrageiras. I Absorção de potássio em função da espécie vegetal. *Científica*, v.21, p.55-66; 1993.

CARMELLO-GUERREIRO, S.M. *Técnica de inclusão de material vegetal em historresina*. Botucatu: Laboratório de Morfologia Vegetal, Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Botucatu, 1995. 12p.

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. 119p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

CARVALHO, R., FURTINI NETO, A.E., CURI, N., FERNANDES, L.A., OLIVEIRA JUNIOR, A.C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.24, p. 69-74, 2000.

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

CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S., GALVANI, E., ESCOBEDO, J.F., MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Köppen. In: Simpósio em energia na agricultura, 1, 1999. Botucatu Anais... Botucatu. Unesp-FCA, 1999, p.487-91

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 Dis*; v.74, p.729-32, 1991.

- DEL GIUDICE, R.M., FREIRE, F.M., TANAKA, R.T. Nutrição mineral e adubação do arroz. *Inf. Agropecu*; v.55 p. 40- 54, 1979
- DEREN, C.W., DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H., MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. *Crop Sci*; v.34, p.733-37, 1994.
- DINIZ, J.d.A., BRANDÃO, S.S., GUIDE d., R.M., SEDIYAMA, C.S., LOUREIRO, B.T. Comportamento de variedades de arroz, em terras altas, sob regime de irrigação por aspersão e em diferentes níveis de adubação nitrogenada. *Experientiae*, (Viçosa) v.22, p.235-62, 1976.
- ELLIOT, C.L., SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *J. Agric. Food. Chem.* v.39, p.1118-9, 1991
- EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: 1999, 421p.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, v.91, p.11-7, 1994.
- EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *J. Inorg. Biochem.*, v.69, p.139-44, 1998.
- FAGERIA, N.K., SANT'ANA, E.P., CASTRO, E.M.de., MORAIS, O.P. Resposta diferencial de genótipos de arroz de sequeiro à fertilidade do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.19, p.261-7, 1995a.
- FAGERIA, N.K., SANT'ANA, E.P., CASTRO, E.M.de., MORAIS, O.P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecidos à fertilidade do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas v.30, p.1155-61, 1995b.

- FARIA, R.G.d. *Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo*. Lavras 2000, 47p. Dissertação (Mestrado – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras.
- FEDER, N., O'BRIEN, T.P. Plant microtechnique: some principles and new methods. *Am. J. Bot.*, v.55, n.1, p.123-42, 1968.
- FORNASIERI FILHO, D., FORNASIERI, J.L. *Manual da cultura do arroz*. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p.
- GROTHERGE-LIMA, M.T. *Interação cancro da haste (Diaporthe phaseolorum f. sp. meridionalis), nodulação (Bradyrhizobium japonicum) e silício na soja [Glycine max (L) Merrill]*. Piracicaba, 1998. 58p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura). Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo.
- HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effects of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. *Soil Sci.Plant Nutr.*, v.34, p.65-73, 1988.
- ISLAN, A., SAHA, R.C. Effects of silicon on the chemical composition of rice plants. *Plant Soil*, v.30, p.446-58, 1969.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. IAC 202: arroz de sequeiro para o Estado de São Paulo. Campinas, 1998. “não pag”. (Folder)
- KORNDÖRFER, G.H., DATNOFF, L.E. Adubação com silício: Uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. *Inf. Agron*; n.70, p.1-3, 1995

- KORNDÖRFER, G.H., DATNOFF, L.E., CORRÊA, G.F. Influence of silicon on grain discoloration and upland rice growth in four savanna soils of Brazil. *J. Plant Nutrition*, New York, v.22, p.93-102, 1999a
- KORNDÖRFER, G.H., ARANTES, V.A., CORRÊA, G.F., SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.23 p.635-41, 1999b
- KORNDÖRFER, G.H., COELHO, N.M., SNYDER, G.H., MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.23 p.101-6, 1999c.
- KORNDÖRFER, G.H., SNYDER, G.H., ULLOA, M., PERDOMO, R., POWELL, C., DEREN, C., DATNOFF, L.E. Soil and Plant silicon calibration for rice production. editora, p. 14-5, 1999d. (Manuscript prepared for the *Rice Council Meeting*, Belle Glade)
- LIANG, Y.C., MA, T.S., LI, F.J., FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.25, p.2285-97, 1994.
- LIMA FILHO, O.F.de., LIMA, M.T.G.de., TSAI, S.M. O silício na agricultura. *Inf. Agron.*, n.87, p.1-7, 1999. (Encarte Técnico)
- LOPES, A.S.(Adap). *Manual internacional de fertilidade do solo*. Piracicaba: Potafos, 1998. 177p.
- MA, J., NISHIMURA, K., TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Sci. Plant Nutr.*, v.35, p.347-56, 1989.

- MACHADO, J.R. *Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de polulações de arroz (Oryza sativa L.) irrigado por inundação em função de épocas de cultivo*. Botucatu, 1994. 237p. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição de plantas*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E., FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E., YAMADA, T., MALAVOLTA, E. *Cultura do arroz de sequeiro fatores afetando a produtividade*. Piracicaba. Editora Instituto da Potassa & Fosfata, 1983, p.95-143.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.S., OLIVEIRA de. S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MATSUSHIMA, S. *Crop science in rice: theory of yield determination and its application*. Tokyo: Fuji, 1970. 379p.
- McKEAGUE, J.A., CLINE, M.G. Silica in soil solution. II The adsorption of monosilic acid by soil by other substances. *Can. J. Soil Sci.*, v. 43, n.1, p.83-95, 1963.
- MENGEL, K.E., KIRKBY, G.A. Further elements of importance. In: Principles of plant. Institute International Potasa. 4th Edition, 1987, p.573-588
- OLIVEIRA, J.B.de., JACOMINE, P.K.T., CAMARGO, M.N. *Classes gerais de solo do Brasil*. Guia auxiliar para seu reconhecimento, 2ed. Jaboticabal: FUNESP, 1992, 201p.

- PEDROSA, B.A. Condições climáticas para cultivar arroz: temperatura. *Lav. Arrozeira*, n.320, p.6-8, 1980.
- RAIJ, B.van., CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. *Bragantia*, v.32, p.223-31, 1973.
- RAIJ, B.van., QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. *Bol. Tec. Inst. Agron. Campinas*, n.81, p.1-31, 1983.
- RAIJ, B.van., 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. 2ed. 285p.
- SANINT, L.R. Evolución tecnológica, perspectivas futuras y situación mundial del arroz. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1997, Camboriu. Palestras... Camboriu: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 1997. p.7-35.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. *Summa Phytopatolo.*, v.1, p.231-3, 1975.
- SAVANT, N.K., SNYDER, G.H., DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agron*, v.58, p.151-99, 1997a.
- SAVANT, N.K., DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H. Depletion of plant-available silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* v.28, p.1245-52, 1997b.
- SNYDER, G.H. Development of silicon soil test for Histosol-grown rice. *Belle Glade: Univ. Florida*, 1991. (EREC Res. Report).

- STONE, L.F., OLIVEIRA, A.B., STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro, ao nitrogênio. *Pesquisa Agropec. Bras.*, v.14, p.295-301, 1979.
- STONE, L.F., SILVEIRA, P.M., MOREIRA, J.A.A., YOKOYAMA, L.P. Adubação nitrogenada em arroz de sob irrigação suplementar por aspersão. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.34, p.929-32, 1999.
- TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATUSUO, T., KUMAZAWA, K., ISHII, R., ISHIHARA, K., HIRATA, H. *Science of rice plant physiology*. Tokio: Nobunkyo, 1995, v.2, cap.5, p.420-433, 1995
- TANAKA, A., PARK, Y.D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. *Soil Sci.Plant Nutr.*, v.12, p. 23-8, 1966.
- TISDALE, S.L., NELSON, W.L., BESTON, J.D., HAULIN, J.L. *Soil fertility and fertilizer*. New York: Macmillan, 1993, p.634.
- VERMAS, T.S., MINHAS, R.S. Effect of iron and manganese interaction on paddy yield and iron and manganese nutrition in silicon-treated and untreated soil. *Soil Sci.*, v.147, p.107-15, 1989.
- VORM, P.D.J. Uptake of Si by five plant species, as influenced by variations in Si-supply. *Plant Soil.*, v.56, p.153-6, 1980.
- WALLACE, A., ROMNEY, E.A., MUELLER, R.T. Nitrogen-silicon interaction in plants grown in desert soil with nitrogen deficiency. *Agron. J.*, v.68, p.529-30, 1976.
- WALLACE, A. Relationships among nitrogen, silicon, and heavy metal uptake by plants. *Soil Sci.*, v.147, p.457-60, 1989.

- WALLACE, A. Participation of silicon in cation-anion balance as a possible mechanism for aluminum and iron tolerance in some gramineae. *J. Plant Nutr.*, v.15, p.1345-51, 1992.
- WERNER, D., ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A., BIELESKI, R.L. (ed). *Encyclopedia of plant physiology*. Berlin: Sprienger-Verlag, 1983, v. 15B, p.682-694. (New Series).
- WINSLOW, M.D. Silicon, disease resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. *Crop Sci.*, v.32, p.1208-13, 1992.
- YOSHIDA, S., OHNISHI, Y., KITAGISHI, K. Role of silicon in rice nutrition. *Soil Plant Food.*, v.5, p.127-33, 1959.
- YOSHIDA, S., OHNISHI, Y., KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 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. Growth and development of the rice plant. In: YOSHIDA, S. *Fundamental of rice crop science*. Los Banos, 1981. cap.1, p.1-63.