

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

JOÃO PAULO TOSTES CORREIA

**ABSORÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO COMPARADA COM O FORNECIMENTO DO
ELEMENTO VIA SOLO PARA A CULTURA DO ARROZ**

**Uberlândia – MG
Dezembro – 2007**

JOÃO PAULO TOSTES CORREIA

**ABSORÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO COMPARADA COM O FORNECIMENTO DO
ELEMENTO VIA SOLO PARA A CULTURA DO ARROZ**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para a
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer

**Uberlândia – 2007
Dezembro – 2007**

JOÃO PAULO TOSTES CORREIA

**ABSORÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO COMPARADA COM O FORNECIMENTO DO
ELEMENTO VIA SOLO PARA A CULTURA DO ARROZ**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Agronomia, da
Universidade Federal e Uberlândia, para a
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Aprovada pela Banca Examinadora em 8 de dezembro de 2007

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
Orientador

MSc. Guilherme Bossi Buck
Membro da Banca

Prof. Dr. Lísias Coelho
Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força para conseguir ingressar no curso de Agronomia e conseguir encerrá-lo após grande luta.

Agradeço aos meus pais, Roberto Parente Correia e Selma Villela Tostes Correia, todos meus familiares que estiveram do meu lado desde o começo da luta e sempre tiveram compreensão, paciência, carinho e souberam me ajudar nos momentos de maior apreensão.

Aos professores e funcionários da Universidade Federal de Uberlândia que se dispuseram em ajudar quando foi preciso.

Agradeço, em especial, o Professor Gaspar Henrique Korndörfer pela oportunidade de fazer o trabalho de conclusão de curso sob sua orientação, me ajudar de diversas formas durante a graduação e fazer parte do GPSi.

Agradeço o Guilherme Bossi Buck pelas orientações e ajudas na condução deste trabalho, no entendimento e esclarecimento de dúvidas que surgiram.

Agradeço os integrantes do GPSi, que quando precisei, eles estiveram do meu lado no que foi preciso.

Aos amigos Henrique Tomás Marçal e Leonardo Silva Araújo pela ajuda na condução deste trabalho, e pela amizade, companheirismo durante estes cinco anos em que cursamos esta faculdade, e tenho certeza que esta amizade continuará por toda vida.

A vocês meu muito obrigado.

RESUMO

O arroz é uma cultura muito importante no mundo todo e, como toda cultura, ela necessita ser suprida com os nutrientes essenciais e benéficos, podendo ser aplicada tanto via solo, quanto via foliar. A aplicação de fertilizantes foliares pode ser uma forma viável para fornecer o nutriente à planta, quando da constatação da necessidade, pois são fornecidas pequenas doses para que supra tal deficiência. Com o objetivo de estudar novas alternativas no fornecimento de silício para as plantas, em menores doses, comparado a uma aplicação via solo esse experimento foi conduzido em casa de vegetação. Foi utilizado um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, coletado a uma profundidade de 0-20 cm, na região de Santa Vitória-MG. Este solo foi corrigido e colocados em vasos com capacidade para 10 kg de solo. A cultivar de arroz utilizada foi a Metica – I. O experimento constituiu-se em 7 tratamentos, sendo a testemunha, uma dose de silício (Si) aplicada via solo e nos outros tratamentos as doses de Si aplicadas via foliar, que variaram de 1 a 16 g ha⁻¹, mantendo-se constante o pH da solução em torno de 10,5. Foram avaliados o teor de Si foliar, teor de Si na matéria seca total, massa de matéria seca e Si acumulado. Os valores de Si na folha variaram de 1,07 a 1,85%, na parte aérea total variaram entre 0,69 a 1,53% e a massa seca variou de 46,5 a 61,95 g vaso⁻¹. Quanto ao Si acumulado houve uma variação de 0,32 (testemunha) a 0,93 g vaso⁻¹ (wollastonita), porém, não houveram variações entre as doses aplicadas via folha, apenas entre as médias das doses aplicadas via folha e a wollastonita apresentando diferença. Desta forma, não houve efeito da aplicação de silício via foliar no acúmulo desse elemento na planta, apenas com a aplicação via solo foi notada a absorção de Si.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO -----	6
2 REVISÃO DE LITERATURA-----	10
2.1 Silício na planta -----	10
2.2 Silício no solo -----	12
2.3 Adubação foliar -----	12
3 MATERIAL E MÉTODOS -----	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	17
6 CONCLUSÕES -----	21
REFERÊNCIAS -----	22

1 INTRODUÇÃO

A origem do arroz é relatada por diversos historiadores e cientistas como sendo o sudeste da Ásia, na Índia, uma das regiões de maior diversidade e onde ocorrem numerosas variedades endêmicas. As províncias de Bengala e Assam, bem como em Mianmar, têm sido referidas como centros de origem dessa espécie. Duas formas silvestres são apontadas na literatura como precursoras do arroz cultivado: a espécie *Oryza rufipogon*, procedente da Ásia, originando a *Oryza sativa*; e a *Oryza barthii* (= *Oryza breviligulata*), derivada da África Ocidental, dando origem à *Oryza glaberrima*. O gênero *Oryza* é o mais rico e importante da tribo Oryzeae e engloba cerca de 23 espécies, dispersas espontaneamente nas regiões tropicais da Ásia, África e Américas. A espécie *Oryza sativa* é considerada polifilética, resultante do cruzamento de formas espontâneas variadas.

Bem antes de qualquer evidência histórica, o arroz foi, provavelmente, o principal alimento e a primeira planta cultivada na Ásia. As mais antigas referências ao arroz são encontradas na literatura chinesa, há cerca de 5.000 anos. O uso do arroz é muito antigo na Índia, sendo citado em todas as escrituras hindus. Variedades especiais usadas como oferendas em cerimônias religiosas, já eram conhecidas em épocas remotas. Certas diferenças entre as formas de arroz cultivadas na Índia e sua classificação em grupos, de acordo com ciclo, exigência hídrica e valor nutritivo, foram mencionadas cerca de 1.000 a.c. Da Índia, essa cultura provavelmente estendeu-se à China e à Pérsia, difundindo-se, mais tarde, para o sul e o leste, passando pelo Arquipélago Malaio, e alcançando a Indonésia, em torno de 1500 a.c.

Na Europa, o arroz começou a ser cultivado nos séculos VII e VIII, com a entrada dos árabes na Península Ibérica. Foram, provavelmente, os portugueses quem introduziram esse cereal na África Ocidental, e os espanhóis, os responsáveis pela sua disseminação nas Américas.

Alguns autores apontam o Brasil como o primeiro país a cultivar esse cereal no continente americano. O arroz era o "milho d'água" (abati-uapé) que os tupis, muito antes de conhecerem os portugueses, já colhiam nos alagados próximos ao litoral. Consta que integrantes da expedição de Pedro Álvares Cabral, após uma peregrinação por cerca de 5 km em solo brasileiro, traziam consigo amostras de arroz, confirmando registros de Américo Vespúcio que trazem referência a esse cereal em grandes áreas alagadas do Amazonas. Em 1587, lavouras arrozeiras já ocupavam terras na Bahia e, por volta de 1745, no Maranhão. Em 1766, a Coroa Portuguesa autorizou a instalação da primeira descascadora de arroz no Brasil,

na cidade do Rio de Janeiro. A prática da orizicultura no Brasil, de forma organizada e racional, aconteceu em meados do século XVIII e daquela época até a metade do século XIX, o país foi um grande exportador de arroz (EMBRAPA, 2007).

Segundo a FAO (2006), entre os continentes, a Ásia é o maior produtor mundial (90,5%), seguido das Américas (5,9%), África (3,0%), Europa (0,5%) e Oceania (0,1%). O Brasil é o nono produtor mundial de arroz e o primeiro fora do continente asiático. Considerando os diferentes tipos de arroz produzidos e consumidos mundialmente, a produção mundial foi de 618 milhões de toneladas em 2005. Os nove maiores produtores mundiais foram responsáveis por 84,8% da produção mundial naquele ano, sendo China e Índia os maiores produtores, participando com 30,0% e 20,9%, respectivamente.

Nos últimos 30 anos o Brasil reduziu sua área de plantio em torno de 26% e, mesmo assim, aumentou sua produção de arroz em 69%, graças ao aumento de 128% na produtividade média. Esse aumento da produção permitiu ao país tornar-se auto-suficiente em arroz na safra 2003/2004, segundo o Instituto de Economia Agrícola. Em 2005, o Brasil chegou a exportar 272 mil toneladas de arroz (FAO, 2006).

No Brasil, os principais Estados produtores de arroz são Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Mato Grosso, Maranhão e Pará. O Estado de Mato Grosso sempre esteve entre os quatro maiores produtores brasileiros de arroz. Em 1996 tornou-se o segundo produtor nacional de arroz, chegando a ser responsável por 13,5% da produção nacional em 2004. Em virtude de diversos fatores conjunturais ocorridos na safra 2004/2005 houve uma redução significativa da área de plantio e, em consequência, da produção mato-grossense no ano de 2005, o que fez com que o Estado, nesse ano, voltasse a ser o terceiro produtor nacional, logo atrás de Santa Catarina.

No Estado de Mato Grosso, no período de 1980 a 2005, a área cultivada com arroz em terras altas apresentou uma redução de 4,8%, passando de 896,5 mil ha para 853,6 mil ha, respectivamente. Por outro lado, nesse mesmo período, a produtividade teve um aumento significativo, de 1.311 Kg ha⁻¹ passou para 2.651 Kg ha⁻¹, evidenciando um acréscimo de 102,2% (FAO, 2006).

O sistema de cultivo de arroz irrigado, praticado na Região Sul do Brasil, vem contribuindo, em média, com 54% da produção nacional, sendo o Rio Grande de Sul o maior produtor brasileiro.

De acordo com o Almanaque do Arroz (2006), os maiores estados produtores são o Rio Grande do Sul (46%), Mato Grosso (16%), Santa Catarina (8%), Maranhão (5%), Tocantins e Pará (4%) e outros estados (17%).

Assim como toda cultura, o arroz também tem suas exigências dos macro e micronutrientes. O silício está sendo considerado um nutriente benéfico (RAIJ et al., 1973) para várias culturas, mas principalmente as gramíneas. A cultura do arroz é uma, das que está em destaque e a importância do uso do Si nessa cultura já foi demonstrada com experimentos no Japão, por Okuda e Takahashi (1964); no Havaí por Ayres et al. (1966) e Raposa (1967); nas Ilhas Maurício por Halais (1968); e na Flórida por Gascho e Andreis (1974), Gascho (1978), Snyder et al. (1986) e Anderson et al. (1987).

Em solos com baixa disponibilidade de Si, ou seja, solos intemperizados, a aplicação de fontes silicatadas é muito importante para disponibilizar esse elemento para as culturas, tanto via solo (reposição) como via foliar, por meio de corretivos e adubos.

A nutrição das plantas com Si, geralmente as deixa com uma resistência maior ao ataque de pragas e doenças, principalmente fúngicas. Os efeitos desse elemento no aumento da produção das culturas estão relacionados com o mecanismo de defesa física da planta pela deposição do silício na folha (KORNDÖRFER et al., 2004).

Porém, a barreira física proporcionada pelo Si nas células epidérmicas, não é o único mecanismo de combate à penetração das hifas de fungos ou ataque de insetos. Resultados recentes de pesquisa sugerem que, o Si age no tecido das plantas afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta (SAMUELS et al., 1991; CHÉRIF et al., 1994). Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógeno, e a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (MENZIES et al., 1991).

Bowen et al. (1992) demonstraram que o Si aplicado via foliar pode controlar doenças nas culturas do tomateiro e videira, que são incapazes de transportar o Si o sistema radicular para a parte aérea. A aplicação foliar de Si pode agir sobre as doenças através da criação de uma barreira física a penetração de hifas ou induzindo a acumulação de fenóis e/ou outros mecanismos de defesa.

A pesquisa sobre o fornecimento de Si foliar objetiva descobrir alternativas viáveis de fertilização do nutriente, sendo aplicado em menores quantidades, satisfazendo a necessidade da planta e/ou estimulando os efeitos benéficos do Si, que segundo Epstein (2001) são: resistência ao ataque de organismos patogênicos; melhor estruturação da arquitetura das plantas; resistência à herbivoria de insetos fitófagos; redução da fitoxides das plantas causadas

por metais pesados; maior tolerância das plantas em ambiente salino; redução dos efeitos de estresse hídrico; proteção contra efeitos de temperaturas extremas; promoção da formação de nódulos simbióticos em leguminosas; efeitos em atividades enzimáticas e, em geral, composição mineral das plantas. Assim seria possível diminuir custos com a aplicação via solos, empregando o adubo foliar com aplicações de fungicidas.

Em se tratando de adubos foliares silicatados, há o problema de não haver muitos produtos registrados, tendo apenas o silicato de potássio (BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais destinados à Agricultura. Instrução Normativa n. 10, de 28 de outubro de 2004. Diário Oficial da União, Brasília, 4. nov. 2004, Seção 1, p.3.), fazendo com que limite possíveis estudos e ampliação do uso desse nutriente pelos agricultores.

Com isso, este trabalho foi realizado com intuito de avaliar o teor de Si foliar e o Si acumulado, comparando o fornecimento do nutriente via foliar com o padrão (Wollastonita via solo) pela cultura do arroz.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Silício na planta

O elemento químico silício (Si) foi obtido pela primeira vez por Davy em 1809, porém os primeiros estudos que tiveram resultados favoráveis, em relação ao Si como fertilizante, ocorreram em 1843, sendo estes desenvolvidos por Lawer na Estação Experimental de Rothamsted, cujos resultados levaram mais de 130 anos para fornecer informações consistentes dos efeitos do Si na produtividade e resistência das plantas a doenças. No século XX, experimentos sobre os efeitos do Si foram realizados para muitas culturas, como arroz, milho, cevada, girassol e beterraba. No entanto, os mecanismos fisiológicos desse elemento, ainda hoje, não são bem conhecidos. Muitos estudos foram realizados em diferentes universidades e estações experimentais, principalmente no Japão, onde foram obtidos resultados utilizados como base para a produção de fertilizantes silicatados. Isto atentou a continuação dos estudos dos efeitos do Si na cultura do arroz e outras culturas (RAMOS, 2005).

Existem espécies de gramíneas que acumulam grandes quantidades de silício. Por exemplo, cana-de-açúcar e arroz, principalmente, chegam a acumular na folha quantidades de Si entre 10 a 50 g kg⁻¹ de sua matéria seca. Como comparativo, pode-se citar o caso do fósforo (P), onde as mesmas culturas mencionadas acima, quando bem nutridas, chegam a acumular de 1,8 a 2,2 g kg⁻¹ de P na folha.

A importância do uso do Si para as culturas como o arroz, cana-de-açúcar, entre outras, já foi demonstrada por Okuda e Takahashi (1964), no Japão; Ayres et al. (1966) e Raposa (1967), no Havaí; Halais (1968), nas Ilhas Maurício; Gascho e Andreis (1974), Gascho (1978), Snyder et al. (1986) e Anderson et al. (1987), na Flórida.

Segundo Yoshida (1965), a absorção de Si da solução do solo ocorre de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo transpiratório de água que é absorvido pelas raízes das plantas. Durante o processo ativo, a água é perdida através da transpiração e o Si é depositado nos tecidos das plantas. Quando a concentração de Si aumenta na planta, o ácido monossilícico se polimeriza. Porém, em leguminosas, a absorção de Si ocorre de forma “rejeitiva”, onde as plantas o absorvem sem translocá-lo (MA et al., 2001).

Balastra et al. (1989) citam que o silício é transportado pelo xilema e as maiores quantidades são depositadas na parede celular destes vasos. A forma de deposição de silício é

como sílica amorfa e hidratada ou opala ($\text{SiO}_{2n}\text{H}_2\text{O}$). Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui nas plantas. Snyder et al. (1986) sugerem que as plantas de arroz deveriam conter pelo menos 3% de Si na parte aérea para garantir ótimo desenvolvimento.

O uso do Si tem promovido melhoria na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese (DEREN et al., 1994), resultado da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N (YOSHIDA et al., 1962; BALASTRA et al., 1989). Além disso, promove o aumento da resistência da planta à incidência de doenças fúngicas, por ser tal elemento depositado na folha, nos tecidos da epiderme logo abaixo da cutícula, precisamente nas paredes celulares mais externas (AGARIE et al., 1998), conferindo-lhe resistência mecânica à penetração das hifas (BARBOSA FILHO et al., 2001).

Ma e Takahashi (2002) em suas pesquisas sobre o Si, citam que dentre suas múltiplas funções em benefício às plantas, há um papel na solução do solo, de complexar o alumínio a Al-Si, reduzindo, assim, a toxidez desse elemento para as mesmas. Nas raízes, o silício polimeriza-se em sílica, a qual age reduzindo a captação de manganês pelas plantas, diminuindo, dessa maneira, estresses causados por esse elemento, além de melhorar a disponibilidade de fósforo no interior dos tecidos vegetais, e também, a deficiência por esse nutriente. No caule, a deposição de sílica aumenta a resistência do mesmo e previne o acamamento.

Os efeitos do Si, na maioria das vezes estão relacionados ao Si adicionado à fertilização via solo, geralmente na forma de algum silicato. Estes silicatos podem ser de origem sintética, natural ou então oriunda das escórias de siderurgia. Entretanto, independente da origem, estes silicatos, pelas suas propriedades agronômicas, são aplicados ao solo em grandes quantidades. No Japão, a média de silicato aplicada por hectare nas áreas de arroz atinge cerca de 1,5 a 2,0 ton ha^{-1} de escória, com teores de Si por volta de 220 g kg^{-1} de Si (DE DATTA, 1981). Já os silicatos de potássio e sódio, de origem sintética, possuem alto grau de solubilidade, podendo apresentar maior eficiência no fornecimento de Si para as plantas, e podendo ser aplicado diretamente na parte vegetativa da planta.

Em estudos realizados em casa-de-vegetação com 10 diferentes genótipos de arroz, na condição de solo extremamente pobre em Si, com três níveis de fertilização no solo à base de silicato de cálcio, sendo a testemunha, 2,0 e 5,0 Mg ha^{-1} de Ca_2SiO_3 , obtiveram-se níveis de absorção e acúmulo crescentes e proporcionais ao aumento das doses, com médias de 3,2, 12,9 e 24,9 g kg^{-1} de Si, encontradas na matéria seca das folhas respectivamente às doses

(DEREN et al., 1992). Ainda em casa-de-vegetação, trabalhando com duas cultivares de arroz muito utilizadas nos Estados Unidos, em solos pobres em Si, quando aplicado 5 Mg ha^{-1} de silicato de cálcio, houve resposta significativa, com incremento de 33% de acúmulo de biomassa, incluso panícula, grãos, folhas, caule e raízes (DEREN, 1996a, 1996b; DEREN, 1997).

Trabalhando com arroz inundado, durante o período de 1992 a 1996, Korndörfer e Datnoff (2000), com 23 experimentos de campo, observaram um aumento médio da produção de grãos de 1.007 kg ha^{-1} nas parcelas que receberam Si na forma de silicato de cálcio aplicado ao solo.

2.2 Silício no solo

Werner et al. (1983) relataram sobre a grande abundância de Si na biosfera em geral. Porém, mesmo com esta abundância toda, existem regiões como a dos cerrados, por exemplo, que são pobres em Si disponível para as plantas nos horizontes superficiais (RAIJ; CAMARGO, 1973), tornando-se, muitas vezes, incapazes de suprir a necessidade das culturas em geral, principalmente das gramíneas.

No solo, os íons SiO_4^{4-} reagem com H^+ , formando ácido monossilícico, que é a forma assimilada pela planta. Na solução do solo, o H_4SiO_4 comporta-se como um ácido muito fraco, de forma que em pH 7,0, apenas 0,2% ioniza-se na forma carregada negativamente $\text{SiO}(\text{OH})_3^-$. Com o aumento de pH, pode-se aumentar o grau de ionização (BRAGA, 2004).

Alguns fatores do solo que influenciam a concentração de Si na solução do solo podem ser a composição mineralógica e textural, o processo de ciclagem do nutriente, acidez do solo e predominância de íons na solução (MCKEAGUE et al., 1963).

2.3 Adubação foliar

O interesse pelo fornecimento de nutrientes minerais, através das folhas às plantas, cresce significativamente no país. Em geral, sabe-se que o fornecimento de nutrientes via foliar não substitui a nutrição via solo, que é mais comumente utilizada e certamente muito mais difundida (CAMARGO; SILVA, 1990). Porém, existem micronutrientes que podem ser fornecidos quase que exclusivamente com adubação foliar. Segundo Wittwer et al. (1963) e Camargo e Silva (1990), existem trabalhos evidenciando, por exemplo, que em certas hortaliças a aplicação de $8,32 \text{ kg ha}^{-1}$ de sulfato de zinco via foliar correspondeu à aplicação

de 104 kg ha⁻¹ do mesmo fertilizante no solo; em sorgo granífero, apenas duas pulverizações foliares de 283 litros ha⁻¹ de sulfato ferroso, a 4%, resultaram em uma produção maior que a correspondente a uma aplicação de 520 kg ha⁻¹ da mesma fonte aplicada diretamente ao solo, desta forma, acarretando evidentemente um menor custo.

A adubação foliar é uma técnica e, como toda técnica, existem fatores que influenciam seu desempenho. Dentre uma gama de fatores, alguns destes, inerentes à solução, podem ser de grande importância, tais como, dose, concentração, pH da solução, forma química e a interação com outros nutrientes, pois um nutriente é considerado absorvido apenas quando estiver dentro da célula. A absorção foliar compreende uma fase passiva (penetração cuticular) e uma fase ativa (absorção celular). Para que se obtenha bons resultados, geralmente o nutriente precisa ser translocado para locais de maior demanda dentro da planta (DECHEN, 1992). Ainda, a absorção dos micronutrientes pode ser melhorada quando estes estiverem em forma quelatizada.

Os quelatos podem ser definidos como um colóide protetor (eletronegativo) que envolve um íon metálico (eletropositivo), gerando um íon metálico quelatizado (neutro), cuja absorção se torna facilitada em função do balanço de cargas na superfície foliar, independentemente de outras cargas para o balanço ideal e, conseqüentemente, atingindo uma absorção quase que instantânea (DECHEN, 1992). De certa forma, esta questão dos quelatos não influencia no estudo de aplicação do silicato de potássio via foliar, pois a composição química que o Si se encontra neste caso, está na forma de sal e não especificamente como um íon metálico. Sendo assim, a forma de fornecimento do Si não depende da neutralização das cargas para ser absorvido pela planta, da mesma forma ocorre com o ácido bórico (H₃BO₃) no fornecimento de boro (B) via foliar. Diferentemente é a questão do pH da solução, pois esta sim deve ser levada em consideração, podendo causar alguma influência quando se trata de absorção foliar de nutrientes.

Com relação às fontes de Si solúveis com boas possibilidades de uso via foliar, há uma restrição, segundo Iler (1979), dentre os silicatos solúveis, formados a partir de metassilicatos de potássio ou sódio. Os mesmos tendem a formar polímeros facilmente, quando se aumenta a quantidade de H₄SiO₄ na solução. Sendo assim, podem formar ácidos polissilícicos de baixo peso molecular, o que pode ocasionar problemas com a solução do produto, acarretando cristalização da solução, passando do estado líquido para o sólido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação, na Universidade Federal de Uberlândia. O solo utilizado no experimento foi um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, coletado na região de Sana Vitória – MG, cuja caracterização química encontra-se na Tabela 1. Esse solo foi corrigido para atingir 50% de saturação por bases, utilizando-se CaCO_3 p.a.

Tabela 1 - Caracterização química do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) utilizado no experimento.

Solo	pH	Si	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	m
	Água	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³						...%...	
RQo	4,6	1,1	1,3	19	0,7	0,1	0,7	4,5	0,2	4,8	5	74

Observações: Si = (cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹); P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹); SB = soma de bases; T = CTC a pH 7,0; V = saturação por bases; m = saturação por Al.

Por conter baixo teor natural de silício, esse solo é ideal para o experimento, pois a absorção do elemento pela cultura, nesse caso o arroz, seria mínima, quase que incapacitando a planta de suprir sua necessidade.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) com seis doses de silicato de potássio foliar (0, 1, 2, 4, 8 e 16 g L⁻¹ de Si), mais um tratamento adicional com a aplicação de Wollastonita (24,2% de Si e 30,1% de Ca) na dose de 1000 kg ha⁻¹ (Tabela 2), via solo, sendo, esse último, considerado o tratamento padrão para o fornecimento de Si para as plantas de arroz, e cada tratamento com 4 repetições. Os resultados foram analisados primeiramente pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, onde foram submetidos ao teste todos os tratamentos. Posteriormente, para as doses de silício foram utilizados modelos matemáticos (análise de regressão).

Tabela 2 - Relação dos tratamentos e respectivas doses de Si, quantidade do produto, pH da solução e número de aplicações utilizadas no experimento.

Tratamento	Si (g L ⁻¹)	K ₂ SiO ₃ (g 200 L ⁻¹)
1	0	0
2	1	854,5
3	2	1.709
4	4	3.418
5	8	6.836
6	16	13.672
		kg ha ⁻¹
7	Wolastonita	1.000

A correção do solo e adição dos fertilizantes foram realizadas em porções de 50 kg de solos. Foi adicionado fósforo com o superfosfato simples (na forma de pó), na proporção de 25 g a cada 50 kg de solo. Para o Potássio (K), foi adicionado cloreto de potássio ao solo, na proporção de 50 g a cada 50 kg de solo. O nitrogênio e enxofre foram adicionados no início do desenvolvimento da cultura, aproximadamente aos 15 dias após emergência (DAE), através do sulfato de amônio, totalizando 150 kg ha⁻¹ de N e 90 kg de S ha⁻¹.

A cultivar de arroz utilizada foi a Metica – I (suscetível à Brusone - *Pyricularia oryzae*), sendo semeada dia 17 de maio de 2007. Foram semeadas 25 sementes por vaso, após a germinação e emergência, foi realizado um desbaste, no dia 25 de maio, deixando 8 plantas por vaso.

O silicato de potássio é uma solução aquosa, com aspecto de líquido viscoso, translúcido, cuja coloração pode variar entre amarelado e rosado. Solúvel em água em quaisquer proporções, suas características de SiO₂, K₂O, densidade a 20°C, viscosidade a 20°C e pH, são respectivamente 26%, 12%, 1,38 g cm⁻³, 480 cP e 11,0. Portanto é um produto alcalino com propriedades tamponantes. Possui capacidade defloculante, devido à transferência, para o substrato, de cargas elétricas negativas dos seus ânions (SiO₄⁴⁻)_n.

As aplicações foram parceladas em duas, sendo a dose total dividida pelo número de aplicações, em partes iguais. A primeira aplicação foi feita com 25 dias após a emergência da cultura (DAE) e a segunda com 45 DAE, mantendo um intervalo de 20 dias, pois, segundo

Malavolta (1989), existem nutrientes que levam 30 minutos para serem absorvidos e outros até 20 dias.

As aplicações foram realizadas com auxílio de um borrifador, sendo previamente estipulado o volume de aplicação, totalizando 25 mL de solução preparada por vaso. Os vasos foram isolados individualmente para que não houvesse contaminação com outros tratamentos, e as aplicações foram realizadas sempre a partir das 16:00 horas.

Aos 60 DAE, foram coletadas 10 folhas de cada vaso, sendo retiradas as folhas do terço médio para formar cada amostra.

A segunda coleta de folhas foi realizada aos 135 DAE, sendo que a planta encontrava-se em estágio de enchimento de grãos.

Como exigido, foi feita a lavagem das folhas passando-as primeiramente pela água de torneira, solução de detergente biodegradável neutro a 0,1%, HCl 0,1 mol L⁻¹ e água destilada em quantidade suficiente para a retirada total dos resíduos de silicato de potássio na superfície da folha. Após a limpeza das folhas, elas foram submetidas à secagem em estufa por 73 horas e depois moídas em moinho tipo Wiley, com peneira nº 20.

Foi feito também a colheita da parte aérea do arroz. A parte aérea das plantas, sem a panícula, foi seca em estufa, moída e depois analisada quanto aos teores de Si (KORNDÖRFER et al., 2004), assim com nas folhas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do teor de silício nas folhas, teor de Si na parte aérea, massa da matéria seca e silício acumulado estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Efeito das doses de Si aplicadas via foliar sobre os teores de Si nas folhas (coletadas aos 60 DAE), Si na parte aérea (coletadas aos 135 DAE), massa de matéria seca e silício acumulado.

Doses de Si	Teor de Si (folha)	Teor de Si (parte aérea)	Massa de matéria seca	Si Acumulado (Parte aérea)
g L^{-1}	-----%-----		----- g vaso^{-1} -----	
0	1,1	0,7	46,1	0,3
1	1,1	0,7	49,8	0,3
2	1,0	0,6	59,4	0,4
4	1,2	0,6	54,7	0,3
8	1,1	0,7	54,5	0,4
16	0,9	0,9	46,3	0,4
	ns	ns	ns	ns

(ns) = Não significativo.

Analisando os tratamentos feitos com aplicações foliares, percebe-se que não houve acúmulo de Si nas folhas, nem mesmo nas maiores doses aplicadas (Tabela 4).

Pode-se notar que a concentração de Si na folha, tanto da testemunha, quanto da dose máxima, apresentaram, respectivamente, 1,07% e 0,93% (11 e 9 g kg^{-1}) de Si. Segundo Korndörfer et al. (2004) valores na ordem de 11,6 a 14,9 g kg^{-1} (1,1% a 1,45%) de Si na matéria seca da folha + colmo foram obtidos em arroz de sequeiro, cultivados em vasos, em casa-de-vegetação (ambiente protegido).

Uma possível explicação para a baixa eficiência na absorção de Si pelas folhas da cultura deve à formação de polímeros pela solução de silicato de potássio na superfície da cutícula foliar, dificultando a absorção do Si. Iler (1979), trabalhando com silício em solução,

cita que, com o aumento da concentração de Si, podem-se formar polímeros de cadeias longas a partir do ácido monossilícico (H_4SiO_4), formando ácido polisilícico, o qual facilmente se polimeriza em meio ácido.

Porém a afirmativa de que o elemento não foi absorvido, na aplicação via foliar, não pode ser levada em consideração, pois a dose aplicada via solo é muito superior quando comparado com as doses aplicadas via foliar, que são extremamente baixas (máximo de $3,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de Si ou 16 g L^{-1} de Si), tornando mais difícil conseguir detectar diferenças entre tratamentos ao se utilizar a análise foliar, com a metodologia utilizada. Menzies (1992) questionou que, talvez a metodologia empregada para análise de Si não detecte pequenos incrementos, ou seja, não há como diferenciar significativamente um acréscimo de concentração relativamente pequeno em espécies como o arroz, por exemplo, que acumulam mais que 1,0% de Si na sua matéria seca. Portanto, existem limitações na metodologia para as análises de Si em plantas (tecido vegetal), onde, pequenas diferenças no conteúdo de Si das folhas são difíceis de serem detectadas devido às limitações metodológicas (digestão via úmida, nem sempre completa).

Ao final do experimento com arroz, realizou-se uma segunda análise de Si de uma amostra composta do caule e folha, desprezando a panícula.

No caso da parte aérea não houve aumento de Si (Tabela 3). De acordo com a Tabela 3, a concentração de Si nas folhas é maior do que a concentração na parte aérea, isto se deve ao efeito de diluição, já que na parte aérea é levado em consideração a planta toda, exceto a panícula. O teor médio de Si no caule certamente é inferior ao teor médio de Si obtido na folha, uma vez que o nutriente é absorvido pela raiz e translocado até as folhas. A partir daí, o silício é acumulado na folha entre a cutícula e a lamela média e, posteriormente, forma-se o ácido polissilícico, a partir do ácido monossilícico, que fora absorvido e translocado (YOSHIDA, 1965).

Ao analisar massa da matéria seca, nota-se que não houve aumento significativo. Pode-se perceber que a média geral do experimento foi de $52,46 \text{ g}$ por vaso, cada vaso continha 8 plantas, portanto, $6,56 \text{ g}$ por planta. Contando que, convencionalmente, em um hectare estima-se que contenha aproximadamente 45 plantas por metro linear, com espaçamento entre linha de 17 cm , totalizam $2.647.059$ plantas por hectare (MARCHEZAN, 2005). Este total de plantas multiplicado pela massa de uma planta ($6,56 \text{ g}$) resulta em $17.364,7 \text{ kg}$ de matéria seca total por hectare. Desta forma, 1,0% de Si significaria aproximadamente 174 kg ha^{-1} de Si absorvido na parte aérea. Certamente, com a aplicação da dose máxima neste experimento ($3,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de Si ou 16 g L^{-1} de Si), matematicamente, não

se poderiam atingir incrementos maiores que 0,018% de Si acumulado na parte aérea, considerando-se apenas o fornecimento de Si foliar.

O silício acumulado na parte aérea consiste na multiplicação do teor de Si da parte aérea com a massa de matéria seca. Isso foi feito para saber se haveria um resultado significativo quanto a uma possível absorção do elemento pela aplicação foliar. Os resultados obtidos comprovaram que, não houve resultado significativo entre os tratamentos foliares (Tabela 3).

Observa-se que na comparação entre todos os tratamentos, segundo o modelo estatístico proposto, não houve diferença entre os tratamentos que receberam Si via foliar para nenhuma das variáveis. Apenas houve diferença entre o tratamento onde fora fornecido Si via solo (Wollastonita) dos demais tratamentos nas variáveis, teor de Si na folha e Si acumulado.

Isto é explicado pelo fato da quantidade de Si fornecido via solo, através da Wollastonita, ter sido muito superior à maior dosagem de Si fornecida via foliar, 230 kg ha⁻¹ e 16 g L⁻¹ (3,2 kg ha⁻¹), respectivamente.

Tabela 4 - Efeito de fontes, doses e número de aplicações sobre os teores de Si nas folhas, matéria seca da parte aérea e Si acumulado pelo arroz (Análise conjunta dos tratamentos).

Doses de Si	Teor de Si (Folha)	Teor de Si (Parte aérea)	Massa de matéria seca	Si acumulado (Parte aérea)
g L ⁻¹	-----%-----		-----g vaso ⁻¹ -----	
0	1,1 b	0,7 b	46,1 b	0,3 b
1	1,1 b	0,7 b	49,8 b	0,3 b
2	1,0 b	0,6 b	59,4 a	0,4 b
4	1,2 b	0,6 b	54,7 a	0,3 b
8	1,1 b	0,7 b	54,5 a	0,4 b
16	0,9 b	0,9 b	46,3 b	0,4 b
Wollastonita	1,9 a	1,5 a	62,0 a	0,9 a
CV(%)	8,3	18,3	13,3	18,0

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Agrupamento de Scott-Knott

* Aplicação via solo em pré-semeadura na dose de 1.000 kg ha⁻¹.

Não foi possível detectar variações em relação ao acúmulo de Si em função do método analítico utilizado. Isso deve-se ao fato de que pequenas variações não podem ser detectadas através do atual método estabelecido.

O teor de Si observado na folha não diferiu estatisticamente entre as aplicações foliares, mas difere quando comparado à aplicação via solo, obtendo este, um valor cerca de 80% maior que todos os outros tratamentos.

O teor de Si na parte aérea também só apresentou diferença comparando os resultados da adubação foliar com a adubação via solo, apresentando um resultado muito superior.

Com relação à massa de matéria seca houve diferença significativa entre alguns tratamentos foliares (2, 4, e 8 g L⁻¹), se igualando ao tratamento via solo. Um aspecto interessante é o tratamento foliar com maior dose não ter aumentado a massa, podendo não estar relacionado com o acúmulo de Si e sim por outro fator.

Os melhores resultados são mostrados nas doses de 2, 4 e 8 g L⁻¹, dentro dos tratamentos foliares, sendo a testemunha a que apresentou o menor valor, como esperado (Tabela 4). Porém a maior dose do adubo foliar teve um resultado aproximado ao da testemunha, e como foi dito, a absorção de Si não influenciou no aumento da massa.

O silício acumulado na parte aérea se dá pela multiplicação entre o teor de Si na parte aérea com a massa de massa seca. Esse resultado serve para garantir que, mesmo nos resultados que tiveram diferença na massa de massa seca, em aplicações foliares, não houve o acúmulo do elemento em questão, comprovando então que a massa de matéria seca não está relacionada com a absorção do silício, de acordo com os métodos utilizados para fazer as análises.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos conclui-se que, não foi possível detectar se houve absorção de Si pela planta, através do tratamento via foliar independente das doses.

A aplicação via solo foi a única que forneceu Si em quantidades significativas quando comparado com a fonte aplicada via foliar, sendo a melhor fonte para fornecer o nutriente.

REFERÊNCIAS

Almanaque do Arroz, Disponível no site:

<http://www.almanaquedoarroz.com.br/site/13/pg10.asp>, acessado em 15/11/2007.

ANDERSON, D. L.; JONES, D. B.; SNYDER, G. H. Response of a rice-sugarcane rotation to calcium silicate slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.531-535, 1987.

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 production science**, Tóquio, v.1, p.96-103, 1998.

AYRES, R. S. Calcium silicate as a growth stimulant for sugarcane on low silicon soils. **Soil Science Society of America**, Madison, v.101, p.216-227, 1966.

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

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. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.25, p.325-30, 2001.

BRAGA, A. M. C. **Eficiência de fontes e doses de fertilizantes contendo silício na adubação do arroz inundado e do sorgo**. 123f. 2004. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais destinados à Agricultura. Instrução Normativa n. 10, de 28 de outubro de 2004. Diário Oficial da União, Brasília, 4. nov. 2004, Seção 1, p.3, 2004.

BOWEN, P.; MENZIES, J.G.; EIWT, D.L.; GLASS, A.D.M. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 117, p. 906-912, 1992.

CAMARGO, P. N.; SILVA O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: HERBA, 1990.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Peterborough, v.16, p.525-531, 1997.

DE DATTA, S. K. **Principles and practices of rice production**. New York, Wiley-Interscience Publications, 1981.

DECHEN, A. R. **Adubação, produtividade e ecologia**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 425p.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Variable silicon content of rice cultivars grown on Everglades Histosols. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, p.2363-2368, 1992.

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 Science**, New York, v.34, p.733-37, 1994.

DEREN, C. W. Photosynthesis and yield components of silicon-fertilized rice grown in a disease-free environment. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 26., 1996, Texas. **Proceedings...** Texas: [s.n.], 1996.

DEREN, C. W. Photosynthesis, biomass partitioning and nutrient concentration of silicon-fertilized rice. **Agronomy Abstract**, Madison, p.101, 1996b.

DEREN, C. W. Changes in nitrogen and phosphorus concentrations of silicon-fertilized rice grown on organic soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, p.765-777, 1997.

EMBRAPA, Disponível no site:

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/index.htm>, acessado em 15/11/2007.

EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions, and problems. **Photosynthesis Research**, Lawrence, v.46, p.37-39, 1995.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs. concepts. DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (ed) **Silicon in agriculture**, Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.1-15.

FAO. FAOSTAT. Disponível no site: <http://apps.fao.org>, acessado em: 15/11/2007.

GASCHO, G. J.; ANDRIES, H. J. Sugarcane response to calcium silicate slag applied to organic and sand soils. **International Society of Sugarcane Technologists**, Mauritius, v.15, p.543-551, 1974.

GASCHO, G. J. Response of sugarcane to calcium silicate slag. I. Mechanisms of response in Florida. **Soil Crop Science Society Florida - Proceedings**, Durban, v.15, p.543-551, 1978.

HALAIS, P. E DAVY, J. Notes on the 1:100,000 agro-climatic map of Mauritius. **Mauritius Sugar Industry Research Institute, occasional paper**, Mauritius, n.23, 1968.

ILER, R. K. **The chemistry of silica**. New York: Wiley Interscience, 1979.

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF L. E. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 5. **Anais...** Piracicaba: [s.n.], 2000.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.5., p. 469-561, 2004.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA. H.S.; NOLLA. A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. (Boletim técnico, v.2). Uberlândia: UFU, 2004. 50f.

MA, J.F., MIYAKI, Y., TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (ed). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science. p.17-39, 2001.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science. 281 p. 2002.

MA, J. F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M.; ISHIGURO, M.; MURATA, Y.; YANO, M. Asilicon transporter in rice. **Nature**, Londres, v. 440, p.688-691, 2006.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292p

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3 .ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596p.

MARCHEZAN, E.; MARTIN, T. N.; SANTOS, F. M.; CAMARGO, E. R. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção em arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p. 1027-1033, 2005.

McKEAGUE, J. A. E CLINE, M. G. Silica in soil solutions. The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Lethbridge, v. 43, n.1, p.70-82, 1963.

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

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.;SAMUELS, A.L. **The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus***. Physiological and Molecular Plant Pathology, Londres v. 39, p. 403 – 414, 1991.

MUTANI, M.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.56, p.1255-1261, 2005.

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. Studies on the physiological role of silicon in crop plant: IX. Effect of various metabolic inhibitors on the silicon uptake by rice plant. **Journal of Soil Science Manure Japan**, Raven, v.33, p.453-455, 1962.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v.32, n.11, p.223-231, 1973.

RAMOS, L.A. **Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia. 2005. 63p. (Tese de mestrado).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. p.359.

RODRIGUES, F. Á.; McNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, St. Paul, v.94, p.177-183, 2004.

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

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LAUCH A.; BIELSKY R. L. (Ed). **Inorganic plant nutrition**, Berlin: Spring-Verlog, 1983. p.682-694. (New Series, v.15B).

WITTWER, S. H., BUKOVAC, M. J.; TUKEY, H. B. Advances in foliar feeding of plant nutrientes. In: VICKAR, M. H; BRIGDGGER, G, L.; NELSON, L. B. (Ed). **Fertilizer: technology and usage**. Madison: Soil Science Society of America, p. 429-455, 1963.

YOSHIDA, S. Chemical aspectsof the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin National Institute of Agricultural Science**, Kobe, v.15, p.1-58. 1965.

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