

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

**EFEITO DE FONTES DE SI ORGÂNICO E MINERAL NA REDUÇÃO DO
ALUMÍNIO TROCÁVEL DO SOLO E DE SUA ABSORÇÃO PELAS PLANTAS**

CARLOS RIBEIRO RODRIGUES

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia - MG
Novembro - 2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

**EFEITO DE FONTES DE SI ORGÂNICO E MINERAL NA REDUÇÃO DO
ALUMÍNIO TROCÁVEL DO SOLO E DE SUA ABSORÇÃO PELAS PLANTAS**

CARLOS RIBEIRO RODRIGUES

ORIENTADOR: PROF^o Dr. GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia
Novembro - 2000

**EFEITO DE FONTES DE SI ORGÂNICO E MINERAL NA REDUÇÃO DO
ALUMÍNIO TROCÁVEL DO SOLO E DE SUA ABSORÇÃO PELAS PLANTAS**

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 07/11/2000

Prof.^o. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
(Orientador)

Prof.^o. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa
(Conselheiro)

Prof.^a. Dr. Patrícia Guimarães Santos Melo
(Conselheira)

Uberlândia – MG
Novembro – 2000

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e Maria e Jesus, por estarem presentes em tudo que faço.

A meus Pais e irmãos pelo apoio, amor, companheirismo, perseverança.

Ao orientador Gaspar Henrique Korndörfer, pela oportunidade e colaboração com o meu aprendizado durante a realização deste trabalho e curso.

Aos amigos companheiros de república que sempre ajudaram e apoiaram nas dificuldades.

Aos amigos de Curso de Agronomia em especial a Tatiana Lourenço Silva, Juliano Vilela R. Franco e Ivoney Gontijo pela força e companheirismo durante toda a jornada do curso.

Aos colegas orientados do Prof. Gaspar H. Korndörfer e do Laboratório de Análise Foliar e a todos outros colegas, funcionários e professores do Curso de Agronomia, os quais sempre serviam com muita vontade.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1. Silício no solo.....	10
2.1.1. Silício X pH.....	11
2.2. Silício na planta.....	12
2.3. Interação do silício com o alumínio no solo e na planta.....	13
2.4. Fontes de silício.....	15
2.4.1. Casca de arroz.....	15
2.4.2. Silicato de sódio.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Local de instalação do experimento.....	17
3.2. Instalação do experimento e delineamento experimental.....	17
3.3. Parâmetros avaliados.....	18
3.3.1. Si e Al nas folhas.....	19
3.3.2. Matéria seca.....	20
3.3.3. Análise química do solo.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Efeito das fontes de Si no solo.....	22
4.2. Efeito das fontes de Si na planta.....	28
5. CONCLUSÕES.....	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	33

Resumo

A cultura do milho é um dos principais cereais cultivados na região do cerrado, no qual se caracteriza por alta saturação de alumínio trocável no solo, correspondendo um dos principais problemas para a cultura do milho na região do cerrado. Neste trabalho objetivou-se estudar o efeito do silício proveniente da adição ao solo de casca de arroz e silicato de sódio na redução do alumínio (Al) trocável do solo e de sua absorção pelas plantas, bem como no fornecimento de silício para as plantas. O experimento foi realizado na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando como substrato o Latossolo Vermelho-Escuro Álico (LEa), foram empregadas duas fontes de Si: silicato de sódio e casca de arroz com três doses para cada fonte (200, 400 e 800 kg.ha⁻¹) e a testemunha. A adubação dos vasos foram feitas de acordo com a análise de solo. Foram analisados Al trocável, Si “extraível” pH (H₂O) e ΔpH do solo e Si, Al e peso de matéria seca das plantas de milho (AG 6018) aos 48 dias após a germinação. Observou-se que o silicato de sódio foi mais eficiente na liberação de Si para o solo e na redução do Al trocável e do ΔpH do solo. Não houve diferença na produção de

matéria seca com a aplicação de silício em ambas as fontes e as plantas que absorveram mais silício apresentaram maior redução do Al absorvido.

1. INTRODUÇÃO

O bioma cerrado corresponde, em geral, a solos com baixos valores de pH, médio a alto teores de alumínio, baixa disponibilidade de silício para as plantas e por clima tropical quente-úmido com longa estação seca e verão úmido com “veranicos”, isto é, com pequenos períodos sem chuva, de 15 a 20 dias. Estes fatores constituem-se numa das mais importantes limitações ao uso do solo desta região, principalmente para a cultura do milho, sendo um dos fatores responsáveis pela diminuição da produtividade agrícola desta região.

O milho, cereal mais tradicionalmente produzido no Brasil, possui produtividade média ainda muito baixa. Vários fatores contribuem para isto: (a) tendo o seu sistema radicular pequeno, é uma planta muito exigente em umidade; (b) também, dependendo do híbrido, é muito sensível ao alumínio do solo, devido reduzido volume de exploração de água e nutrientes pelas raízes.

Segundo MALAVOLTA (1997), o silício provavelmente diminui a atividade dos íons Al^{3+} na solução do solo, fazendo com que haja um melhor desenvolvimento das raízes na camada mais superficial (0–20 cm) e subsuperficial (abaixo de 20 cm), aumentando a velocidade de difusão dos nutrientes da solução do solo e, conseqüentemente, provocando

uma maior absorção de nutrientes pelas raízes. Este mecanismo poderia minorar a fitotoxidez por alumínio e carência de água e nutrientes nos solos originalmente sob cerrado e, em consequência, induzir um aumento de produtividade por área cultivada. Inovações tecnológicas que induzam aumento de produtividade agrícola, podem auxiliar a reduzir as áreas de cultivo sem prejuízo da produção agrícola como um todo.

O presente trabalho teve por objetivo estudar o efeito do silício proveniente da adição ao solo de casca de arroz e de silicato de sódio na redução do alumínio (Al) trocável do solo e de sua absorção pelas plantas, bem como no fornecimento de silício para as plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os cerrados brasileiros fazem parte do ecossistema das savanas, que ocupa grande porção da região tropical do mundo, sendo que a maior parte destas estão localizadas nos continentes americano e africano (GOEDERT, 1989).

No Brasil, os cerrados ocupam uma área heterogênea e não contínua de aproximadamente 200 milhões de hectares, ou seja, 23 % do seu território; estendendo-se principalmente pela região Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste.

Os cerrados ocorrem, geralmente, em áreas de relevo plano ou suave ondulado, com boas possibilidades para o emprego de práticas agrícolas mecanizadas. Essa característica, associada com a profundidade e boas propriedades físicas da maioria dos solos que cobrem a região, tem sido um dos componentes mais importantes na expansão da fronteira agrícola brasileira nos últimos anos, fazendo com que sejam considerados como solos altamente produtivos nos quais é necessário aperfeiçoar técnicas agrícolas com pesquisa de ponta (LOPES, 1984).

3.1. Silício no Solo

O silício é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre (acima de 28%) (TAKAHASHI, 1995). Do ponto de vista agrônômico, suas principais formas no solo são: sílica solúvel (H_4SiO_4 – ácido monossilícico) que quando não ionizado (ou desprovido de cargas elétricas) tem interessantes conseqüências no comportamento do silício com relação aos vegetais (RAIJ & CAMARGO, 1973); sílica adsorvida ou precipitada em óxidos de ferro e de alumínio e os minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). A sua disponibilidade na solução do solo pode ser função de várias propriedades do solo, entre os quais estão: a rocha de origem, grau de intemperismo, pH do solo, teor de sesquióxidos, outras partículas adsorventes, taxa de lixiviação, etc (TAKAHASHI, 1995).

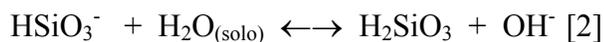
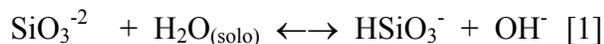
No pH natural dos solos sob cerrado, o ácido monossilícico (H_4SiO_4) é a principal forma de sílica em solução. Em valores de pH acima de 8,5, o ácido monossilícico pode ionizar-se mais facilmente para a forma de $H_3SiO_4^-$. Altas concentrações (ao redor de $28mg.dm^{-3}$) do monômero (H_4SiO_4) faz com que o mesmo polimerize-se formando precipitados de sílica amorfa. Assim, solos ácidos tendem a ter mais sílica na solução do solo e, segundo MALAVOLTA (1980), a calagem diminui a sua disponibilidade

Os principais solos do cerrado apresentam alto grau de intemperismo, com alto potencial de lixiviação, altos teores de alumínio, baixa saturação por bases, baixos teores de silício assimilável e baixa relação (Ki) SiO_2/Al_2O_3 e (Kr) sílica/sesquióxidos de ferro e de alumínio, podendo apresentar baixa capacidade de fornecimento de Si disponível para as

plantas (BRADY, 1992; SILVA, 1973; SOILS AND RICE, 1978). Estes solos apresentam como características marcantes a baixa fertilidade natural e alta acidez, além de possuírem elevados teores de sesquióxidos de ferro e alumínio que contribuem para a alta capacidade de adsorção de fósforo que poderá ser reduzida com a adubação silicatada, se for comprovado seus efeitos benéficos na diminuição da adsorção do fósforo.

3.1.1. Silício x pH

Segundo ALCARDE (1992), a ação neutralizante do silicato pode ser explicada de acordo com as seguintes reações:



Isto é, a hidrólise do ânion silicato promove uma liberação de hidroxilas, conforme mostram as equações acima, promovendo a elevação do pH. Aumenta também o fenômeno da adsorção do Si (H_4SiO_4) com a elevação do pH, uma vez que este fica carregado negativamente, devido à ionização do ácido, tornando-se mais suscetível às forças de adsorção do solo.

Segundo FARIA (2000), trabalhando com a adição de silicato de cálcio em dois solos em varias tensões de água, observou-se um aumento linear nos valores de pH em

CaCl₂ em ambos os solos, concordando também com os dados obtidos por KORNDÖRFER et al. (1999a), onde trabalhou com a aplicação de silicato de cálcio em várias classes de solo, o que pode ser explicado pelas equações 1 e 2.

Trabalho realizado por SMYTH & SANCHEZ (1980), sobre o efeito do calcário, silicato de cálcio e fósforo em Latossolo argiloso (Oxisol), observou que, em dose 0 de fósforo, houve um incremento nos valores negativos do ΔpH , até 2 vezes, para os tratamentos com silicato de cálcio (-0,5), em relação aos tratamentos sem corretivo (-0,2) e com calcário (-0,3).

3.2. Silício na Planta

De acordo com SILVA (1973) e ELAWAD & GREEN (1979), o silício geralmente não é considerado entre o grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. No entanto, segundo os autores, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas, como o milho, tem mostrado aumentos de produtividade com o aumento da disponibilidade de sílica no solo para as plantas.

Acompanhando a absorção da água, a sílica penetra na planta na forma de ácido monossilísico (YOSHIDA, 1975; TAKAHASHI, 1978). No interior da planta, 99% do total acumulado encontra-se na forma polimerizada, a qual é sólida e insolúvel, estando o restante (menos de 1 %), sob forma coloidal e iônica. Portanto a sílica, depois de absorvida pelas raízes, transforma-se, polimerizando-se, e acumula-se nos tecidos vegetais (incluindo órgãos de suporte e células epidérmicas).

Na planta, o silício concentra-se nos órgãos suportes tanto do caule como das folhas. Pode ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos. Em geral, o conteúdo médio de sílica nas raízes é cerca de um décimo da concentração no caule. No arroz o silício da epiderme polimeriza-se e acumula-se nas paredes celulares . Testes conduzidos com silício radioativo (Si^{31}) tem mostrado que o silício é translocada no caule em poucas horas, após ter sido absorvida pelas raízes. Assim a translocação do silício é regulada pela taxa de transpiração. Nos órgãos de transpiração a acumulação específica do silício forma uma dupla camada entre cutículas. Esta, controlando a eficiência da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor. Isso pode ser de extrema importância, principalmente em se tratando de solos em áreas de cerrado, onde o período de estiagem é longo e severo.

O silício acumulado ao redor das paredes celulares e entre as cutículas da epiderme, confere também resistência à patógenos, principalmente por diminuir o acesso às enzimas de degradação, dificultando inclusive a penetração de hifas de fungos. Além disso, os corpos silicosos opalinos (ou fitólitos) ajudam a manter as folhas em porte mais ereto e conseqüentemente aumenta a taxa de fotossíntese (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1986; TAKAHASHI, 1995).

3.3. Interação do silício com o alumínio no solo e na planta

Considerando que o silício seja absorvida na forma não dissociada (aniônica), é de se supor que equivalentes quantidades de hidroxilas devem ser produzidas a partir da

superfície radicular, para que seja mantido o balanço de cargas, os quais podem aumentar o pH da rizosfera e reduzir a absorção de alumínio e ferro (WALLACE, 1993). Segundo FARIA (2000), trabalhando com a adição de silicato de cálcio em dois solos (LVa e AQa), observou redução dos valores de alumínio trocável em ambos os solos, independente da tensão de água utilizada.

Trabalhando com a adição de silício em solução nutritiva, GALVEZ et al. (1987), verificaram redução das relações parte aérea/raiz nas plantas cultivadas em níveis tóxicos de alumínio e manganês. O efeito tóxico do alumínio ($0,296 \text{ mmol.L}^{-1}$) na solução do solo a pH 4,0 foi bastante reduzido com adição de silício ($1,068 \text{ mmol.L}^{-1}$ ou $3,560 \text{ mmol.L}^{-1}$). Em sorgo o silício também aumentou a produção da parte aérea do sorgo e “aliviou” os sintomas de toxicidade de manganês.

Na Tabela 1, podemos observar o comprimento total de raízes de sorgo em solução nutritiva com diferentes níveis de alumínio e silício, onde há um aumento do comprimento de raízes com a aplicação de silício, mesmo e altas concentrações de alumínio.

Tabela 1. Comprimento total de raiz de sorgo cultivado em solução nutritiva com diferentes níveis de Al e Si (média de 2 genótipos de sorgo)

Al solução	Teor de Si na solução - ΦM			Média
	0	1780	3560	
	----- m planta ⁻¹ -----			
0	36,8	42,5	55,0	45,1A
300	34,2	35,0	34,0	34,4B
450	12,6	37,2	29,5	26,4C
600	8,2	32,6	35,9	25,6C
Média	23,0b	37,1a	38,6a	

Fonte: GALVEZ & CLARK, 1991

O alumínio tem efeito negativo no crescimento do sistema radicular do milho, o que acarreta redução de sua eficiência em absorver água e nutrientes. Segundo FURLANI & HANNA (1984), que estudaram o comportamento de diferentes cultivares de milho para tolerância ao alumínio em solução nutritiva, no genótipo HS 7777 (dos mais sensíveis ao alumínio) observou crescimento reduzido das raízes secundárias.

3.4. Fontes de Si

3.4.1. Casca de Arroz

A casca de arroz é um subproduto do beneficiamento constituído pela mistura das glumas e glumelas. Segundo CRUZ (1983), a casca de arroz apresenta 16,0% de sílica na matéria seca, e este está presente na forma de fitólitos.

3.4.2. Silicato de Sódio

Também chamado, “water glass”, como cristal apresentando cor branca ou branco cinzento e se assemelha a vidro mas pode ser dissolvido em água para formar um líquido viscoso. Algumas formas são ligeiramente solúveis e outras quase insolúveis. Elas são dissolvidas melhor mediante aquecimento com água sob pressão. As soluções são fortemente alcalinas. As fórmulas químicas Na_2SiO_3 , $\text{Na}_6\text{Si}_2\text{O}_7$, e $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$ descrevem a composição de várias formas de silicato de sódio (WATER GLASS, 2000).

Segundo FREIRE (1985), que estudou o efeito do silicato de sódio no solo, o tratamento de um solo argiloso com silicato de sódio aumentou a sua estabilidade estrutural. RUFF & DAVIDSON (1961) relataram que o exato mecanismo de estabilização com silicato de sódio não é, ainda, bem conhecido. Segundo estes autores, o silicato de sódio reage com sais de cálcio da solução do solo para formar silicato de cálcio hidratado, gelatinoso e insolúvel, agente cimentante comprovadamente eficiente, que preenche os vazios do solo, expulsando a água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de instalação do experimento

O experimento foi realizado na casa de vegetação da área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia-MG).

3.2. Instalação do experimento e delineamento experimental

A semeadura foi diretamente nos vasos, com capacidade para 5kg de terra. Como substrato foi utilizado material de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico (LEa), sob vegetação de cerrado ainda não cultivado, textura muito argilosa, coletada na profundidade (20-40 cm) (Tabela. 2). Foram semeadas 10 sementes por vaso a 1 cm de profundidade. Utilizou-se o híbrido AG 6018, deixando-se apenas as 4 plantas mais vigorosas, por vaso. As regas foram feitas diariamente, com água destilada, mantendo-se 80% da capacidade de campo do solo (10,7% - 107g de água/kg de solo).

Tabela. 2 – Características químicas do solo na profundidade de 20 a 40 cm

PH	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB ⁽²⁾	t	T	V	m	M.O.
H ₂ O												
(1:2,5)	mg dm ⁻³ ⁽¹⁾						-----Cmol _c /dm ³ -----			-----%-----		dag.kg ⁻¹
4,7	0,6	18,8	0,5	0,1	0,0	4,5	0,1	0,63	4,64	3	80	3,5

⁽¹⁾ P e K extraídos com HCl 0.05 N + H₂SO₄ 0.025 N; Al, Ca e Mg extraídos com KCl 1 N; M.O. método Walkley - Black segundo Vettori (1969)

⁽²⁾ SB = Soma de Bases; t = Cap. Troca Cátions Efetiva; T = Cap. Troca Cátions pH 7,0 ; V = Saturação por Bases; m = Saturação por Alumínio; MO = Matéria Orgânica; Análise Física (textura), Método da Pipeta. (EMBRAPA, 1970).

O delineamento experimental foi o inteiramento casualizado, com sete tratamentos (testemunha; 200, 400, 800 kg Si/ha –na forma de silicato de sódio com 63% SiO₂ e 18% Na₂O; 200, 400, 800 kg Si/ha – na forma de casca de arroz com 5,9% de Si) e 5 repetições, num total de 35 parcelas. Cada vaso constituiu uma parcela. A recomendação da adubação básica do solo foi feita de acordo com a análise química aplicando-se 150 ppm de N (sulfato de amônio, 21% N, sendo ½ 30 dias após plantio); 200 ppm de P₂O₅ (super fosfato simples, 20% P₂O₅); 150 ppm de K₂O (cloreto de potássio, 60% K₂O); 2 t/ha gesso; 1 t/ha sulfato de magnésio; 50 ppm FTE BR12. Todos os adubos, (incluindo o silicato de sódio e a palha de arroz) foram incorporados 30 dias antes do plantio.

Foram realizadas análise de variância e regressão, com auxílio do programa SANEST (Sistema de Análise Estatístico).

3.3. Parâmetros avaliados

As plantas foram coletadas, aproximadamente, após 48 dias de germinação. Foram retiradas 500 g de amostra de solo de cada vaso no ato da coleta.

3.3.1. Si e Al nas folhas

A acumulação de silício nas folhas foi quantificada no final do período experimental, utilizando-se o método descrito por ELLIOT & SNYDER (1991). As folhas após lavadas em água destilada foram colocadas em estufa a 65°C até atingirem peso constante. A determinação é feita em amostras de 0,1 g. Estas foram colocadas em tubos de polipropileno de 80 mL para digestão, tendo uma amostra em branco e uma padrão. Acrescenta-se 2 mL de H₂O₂ (30% ou 130v) e mistura-se imediatamente, por alguns segundos. A seguir, mistura-se 3 mL de NaOH (1:1); coloca-se os tubos na autoclave por 1h, à temperatura de 123°C e à pressão de 1,5 atm. Após a digestão do material, completou-se o volume para 50 mL, utilizando-se água destilada, deixando o material digerido em repouso. Uma alíquota de 5 mL do sobrenadante do extrato foi colocado em copo plástico, acrescentando-se 15 mL de água destilada. Em seguida foram adicionados 1 mL de HCl (1:1 ou 50%) e 2 mL de molibdato de amônio. Procedendo-se uma leve agitação. A cor amarela deve aparecer em todas as amostras contendo Si. Depois de 5 a 10 minutos, adicionou-se 2 mL de ácido oxálico, misturando-os levemente. A leitura foi feita em fotocolorímetro, após um intervalo de 2 minutos, pois a cor amarela é pouco estável.

Os teores de alumínio nas folhas foram avaliados por meio de digestão nitroperclórica. Pesou-se 0,3 g de matéria seca, adicionou-se 6 mL de uma mistura de HNO₃ e HClO₄ na proporção de 4 : 0,5 (v/v). Levou-se ao bloco digestor aumentando-se gradativamente a temperatura até atingir 160°C e deixou-se nesta temperatura até o volume ser reduzido pela metade (cerca de 40 minutos). Aumentou-se a temperatura para 210°C e

deixou-se nesta temperatura até obter fumos brancos de HClO_4 e o extrato apresentar-se incolor (cerca de 20 minutos). Após, retirou-se do bloco e deixou esfriar. Depois completou-se o volume acrescentando-se 50 mL de água destilada. O alumínio foi determinado por espectrofotômetro de absorção atômica com lâmpada de cátodo oco do elemento. Utilizou-se, entretanto, chama de alta temperatura, usando-se como comburante (oxidante) o óxido nitroso e também com expansão da escala do aparelho de pelo menos 10 vezes o sistema de leitura do mesmo.

3.3.2. Matéria Seca

A matéria seca foi avaliada através da secagem das plantas em estufa à 65°C , até peso constante, aos 48 dias após a germinação, aproximadamente.

3.3.3. Análise química do solo

As 35 amostras (uma por vaso) foram submetidas às análises de alumínio trocável, conforme metodologia descrita por (VETTORI, 1969) e modificada por EMBRAPA (1979). Extração em solução de KCl 1N, com relação volumétrica de 1:10 (TFSA:solução), agitação por 15 minutos e repouso por 12 horas, utilizando-se 10 cm^3 de TFSA. Determinação por titulometria com NaOH 0,025N, após adicionar 3 gotas de azul de bromotimol em 25 mL do extrato.

Fez-se, também, a análise de silício solúvel no solo através de extração com ácido acético 0,5M, agitando-se 10g de terra fina seca ao ar (TFSA) por uma hora, com 100ml desta solução. A solução, após agitada e filtrada, permanecia em repouso até o dia seguinte. Para determinação, utilizou-se 10 mL do filtrado, ao qual se acrescenta 1 mL de solução sulfo-molíbdica. O ácido orto-silícico (H_4SiO_4), que é a forma em que o Si se apresenta na solução, reagiu com o molibdato desenvolvendo cor amarela. Após 10 minutos, acrescentou-se 2 mL de uma solução de ácido tartárico a 20%, afim de complexar o fósforo da solução. Após 5 minutos, adicionou-se 10 mL de uma solução de ácido ascórbico para promover o aparecimento da cor azul na solução (este ácido se oxida rapidamente e, portanto, funciona como eficiente redutor). Depois de uma hora foi feita a leitura em um fotocolorímetro (espectrofotômetro) ajustado no comprimento de onda de 660 nm.

Os valores de ΔpH , foram determinado através da formula abaixo:

$\Delta pH = pH\ KCl - pH\ H_2O$ onde,

pH H_2O relação 1:2,5

Colocou-se 10 mL de TFSA em copo plástico e adicionou-se 25 mL de água destilada. Agitou por 15 minutos e deixou em repouso por 45 minutos. Homogeneizou-se cada amostra com bastão de vidro e introduziu o eletrodo.

pH KCl 1,0N relação 1:2,5

Colocou-se 10 mL de TFSA em copo plástico e adicionou-se 25 mL de solução KCl 1,0N. Agitou por 15 minutos e deixou em repouso por 45 minutos. Homogeneizou-se cada amostra com bastão de vidro e introduziu o eletrodo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito das fontes de Si no solo

Na Tabela 3, observa-se que o silicato de sódio foi eficiente na liberação de silício para o solo, no aumento do ΔpH e na diminuição do alumínio trocável do solo em relação à casca de arroz. Isto pode ser observado para os tratamentos, 400 e 800 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Si, com silicato de sódio quando comparada a maior dose de casca de arroz, 800 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Si, onde se observa os maiores valores de Si “extraível” no solo (10,4; 11,4 e 4,8 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, respectivamente), menores valores de ΔpH (-0,78; -0,74 e -0,52, respectivamente) e alumínio (0,55; 0,35 e 0,81 $\text{Cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$, respectivamente).

A Figura 1 apresenta os efeitos das fontes de Si, silicato de sódio e casca de arroz, na liberação de Si para o solo. Observa-se que, para ambas as fontes, houve um aumento linear de teores de Si “extraível” no solo, o que nos indica, provavelmente, que se aplicasse maiores doses de silicato de sódio, haveria um maior incremento de Si “extraível” ao solo. Para o silicato de sódio houve um maior incremento nos teores de Si “extraível” no solo, o

Tabela 3. Efeito da Fonte de Si no Si, Al e Δ pH do Solo.

Si kg.ha ⁻¹	Si (mg.dm ⁻³)	Al (Cmol _c .dm ⁻³)	Δ pH	pH H ₂ O (1:2,5)
Silicato de Sódio				
0	3,6 b	0,81 a	-0,34 a	4,56 c
200	3,6 b	0,73 a	-0,54 b	4,52 c
400	10,4 a	0,55 b	-0,48 c	4,82 b
800	11,4 a	0,35 c	-0,78 c	5,00 a
Média	7,25 A	0,610 B	-0,600 B	4,725 A
Casca de Arroz				
0	3,6 a	0,81 a	-0,34 a	4,56 a
200	3,4 a	0,71 a	-0,48 b	4,52 a
400	5,0 a	0,81 a	-0,56 b	4,52 a
800	4,8 a	0,81 a	-0,52 b	4,50 a
Média	4,20 B	0,785 A	-0,475 A	4,525 B
F (dose)	31,6792**	10,1019**	34,0262**	11,8565**
F (fonte)	46,5125**	34,0280**	24,5099**	43,2453**
F (dose*fonte)	14,8125**	14,5463**	5,3725**	16,2163**

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas entre médias, diferem entre si ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

** significativo a 1%, pelo teste de F

* significativo a 5%, pelo teste de F

^{ns}, não significativo pelo teste de F

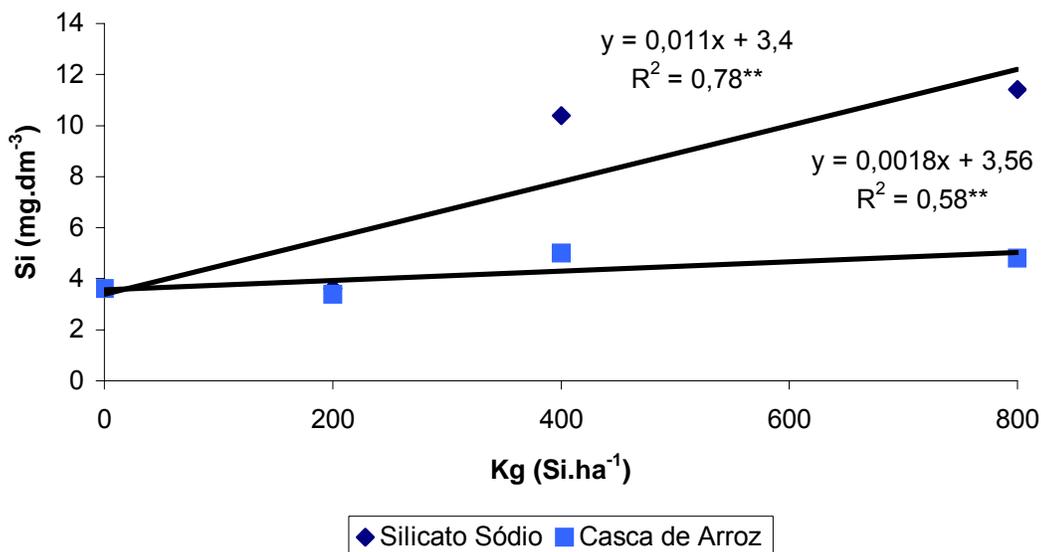


Figura 1. Efeito da Fonte de Silício nos Teores de Si Disponíveis no Solo.

que pode ser observado devido ao maior coeficiente angular da reta dada pela equação ($Y = 0,011X + 3,4$), em relação à casca de arroz.

A Figura 1 ainda mostra aumento de 3 vezes no silício assimilável do solo com a aplicação de 400 a 800 Kg de Si em relação à aplicação de 200 kg.ha⁻¹ e aos tratamentos com casca de arroz. Comparando-se com experimento realizado por KORNDÖRFER et al. (1999a), que estudou o efeito do silicato de cálcio no teor de Si no solo e na produção de arroz de sequeiro, utilizando como substrato o Latossolo Vermelho-Escuro Álico (LEa), o mesmo foi utilizado por esse trabalho, observa-se que a adição de quantidades similares de silício, usando o silicato de cálcio como fonte (onde, ao se aplicar 480 kg.ha⁻¹ de Si obteve 11,6 mg.dm⁻³ de Si assimilável), observou-se resultados semelhantes aos obtidos pelo silicato de sódio (ao se aplicar 400 kg.ha⁻¹ de Si obteve 10,4 mg.dm⁻³ de Si assimilável) (Tabela 3).

Com relação aos valores de ΔpH do solo, observa-se um aumento linear da quantidade de cargas negativas do solo, em até 2 vezes, para os tratamentos com silicato de sódio em relação a testemunha, efeito semelhante foi observado por SMYTH & SANCHEZ (1980) trabalhando com silicato de cálcio. Em relação à casca de arroz, observou-se efeito quadrático (Figura 2).

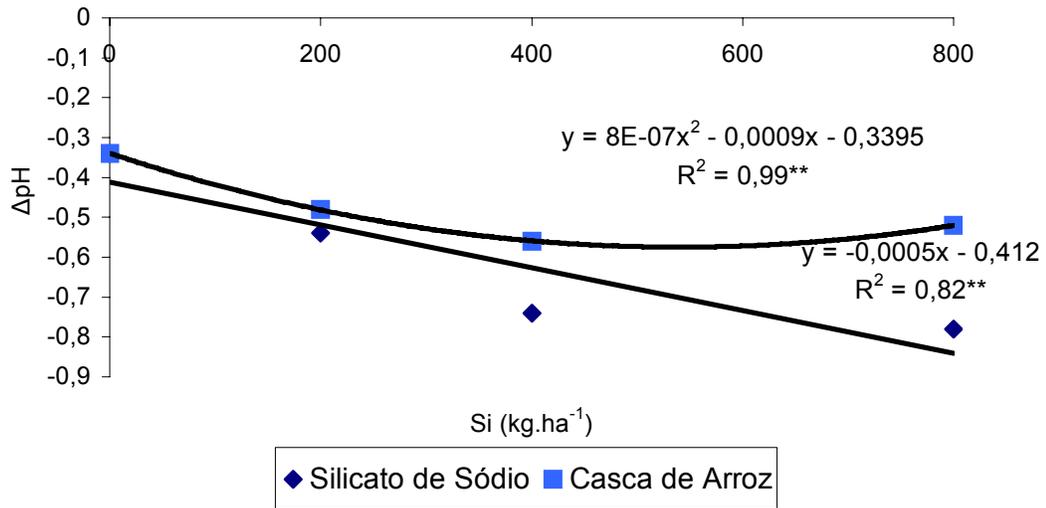
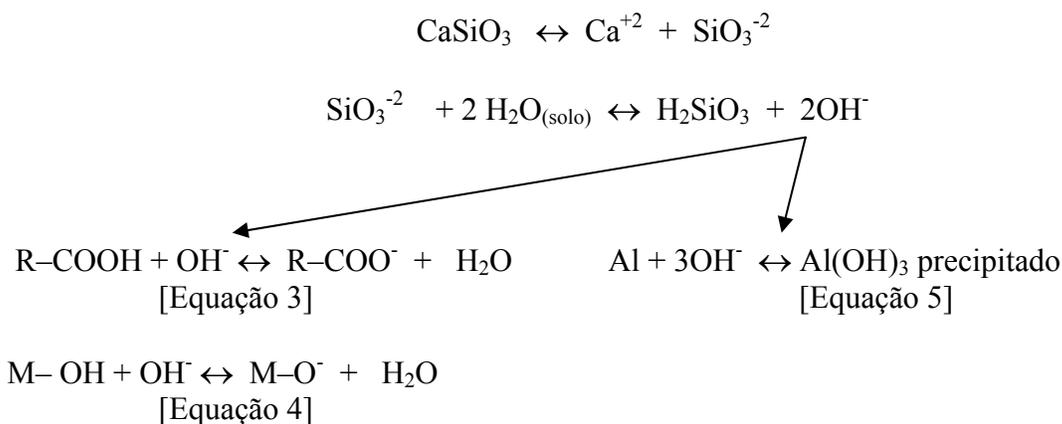


Figura 2. Efeito da Fonte de Silício no Δ pH do Solo.

Observa-se, também que, com o aumento da concentração do Si no solo, houve um aumento do Δ pH, isto é, aumentou a quantidade de cargas negativas do solo, isto significa que, com o aumento do Si, provavelmente há um aumento da capacidade de troca catiônica total (T). Isto pode ser comparado, ao que acontece aos colóides (sesquióxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al)) e a matéria orgânica do solo, onde o H^+ das extremidades da molécula, na presença de OH^- , liberado pela reação de neutralização do silicato no solo (Equação 1), na solução do solo, formando H_2O , libera uma carga negativa, aumentando assim a eletronegatividade do solo (Equação 3 e 4). A aplicação de casca de arroz, como fonte de Si, teve um menor efeito no aumento do Δ pH em relação a aplicação de silicato de sódio, este pequeno aumento pode ser devido à matéria orgânica.

Em relação ao alumínio (Al), observa-se um efeito linear no decréscimo da quantidade de Al trocável no solo no tratamento com silicato de sódio. A casca de arroz não

teve nenhum efeito na redução no alumínio do solo (Figura 3). Podemos observar que quanto maior a quantidade de silício aplicado ao solo menor é a quantidade de alumínio trocável para a planta, o que também foi observado por FARIA (2000) e ALCARDE (1992), ambos trabalhando com silicato de cálcio. A redução do alumínio trocável no solo pode ser explicado pela Equações 5.



R – radical orgânico; M- radical metálico

Os tratamentos 400 e 800 kg.ha⁻¹ de silicato de sódio (Tabela 3) correspondem os maiores valores de pH (4,82 e 5,00 respectivamente). Observa-se, também, que houve aumento significativo nos valores do pH em H₂O, para os tratamentos com silicato de sódio, em relação aos tratamentos com casca de arroz. Porém, este aumento do pH não nos indica que houve uma salinização do solo, e conseqüente efeito sobre o ΔpH, devido ao Na do silicato (360 kg.ha⁻¹ de Na, na maior dose). EMBRAPA (1998) apresenta análises de solos salinos onde o pH é alcalino em torno de 7,0 a 9,0.

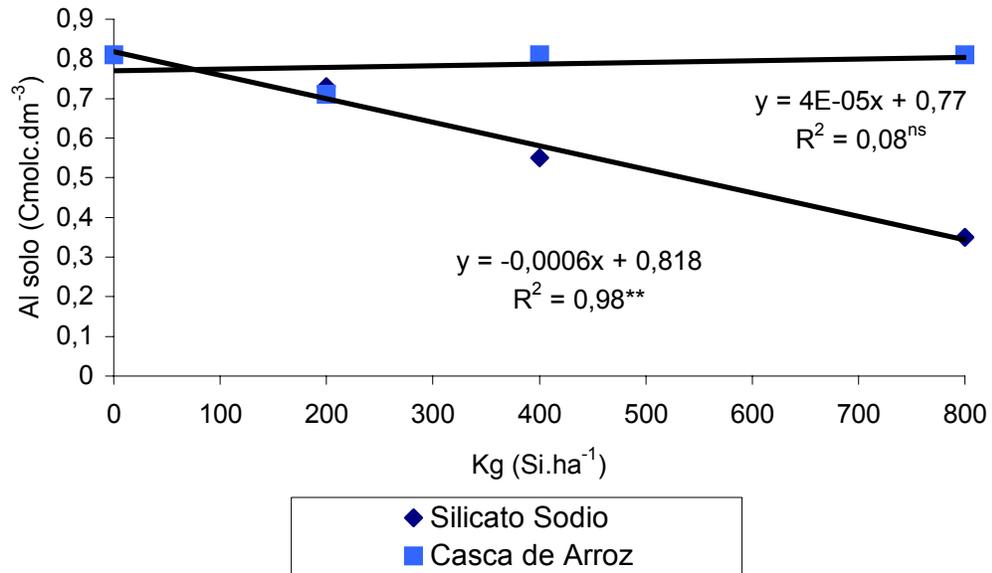


Figura 3. Efeito da Fonte de Silício na Redução do Alumínio Trocável do Solo

A baixa eficiência da casca de arroz na liberação de silício para o solo, na redução do alumínio trocável no solo e no aumento do ΔpH e pH (H_2O), pode ser devido a três hipóteses: (1) o fitólito, partícula silicosa, da casca de arroz possui tamanho maior, aproximadamente $20\ \mu\text{m}$, é não dissolve, concordando assim com DROSDOFF (1975), que considera que os tecidos vegetais dissolve a maior parte da sílica em forma facilmente solúvel, com exceção dos fitólitos; (2) a matéria orgânica da casca de arroz é difícil de decompor e não libera Si, isto pode ser devido a alta relação C:N da casca de arroz e (3) acontece as duas hipóteses anteriores, simultaneamente.

4.2. Efeito das Fontes de Si na Planta

O efeito da fonte de silício sobre a planta de milho, aos 48 dias após a germinação, no tratamento de 400 kg.ha^{-1} de Si, com silicato de sódio, foi desconsiderado devido a um atraso na germinação das sementes, sem causa conhecida, e excesso de água por goteira em três repetições. Na Tabela 4, observa-se que os tratamentos com silicato sódio foram mais eficientes que a casca de arroz, comparando-se as maiores doses de Si (800 kg.ha^{-1}), na absorção de Si ($0,147$ e $0,116 \text{ g.vaso}^{-1}$, respectivamente) e redução do Al da planta ($0,001836$ e $0,003749 \text{ g.vaso}^{-1}$, respectivamente). As fontes de silício, silicato de sódio e casca de arroz, não tiveram efeito sobre a produção de matéria seca da planta de milho.

Na Figura 4 observa-se um aumento linear na quantidade de silício assimilado para os tratamentos com silicato de sódio, o que se deve a uma maior disponibilidade de Si no solo para a planta nestes tratamentos. Porém ao observar coeficiente angular dado pela reta ($Y = 5E -05X + 0,1128$) observa-se um pequeno aumento. Já para os tratamentos com a casca de arroz observa-se que os valores de Si assimilado não foi significativo estatisticamente, o que pode ser devido a pouca liberação de Si pela casca de arroz para o solo.

Tabela 4. Efeito da Fonte de Si nos Teores de Si, Al e Matéria Seca da Planta de Milho aos 48 Dias após a Germinação.

Si kg.ha ⁻¹	Si (g.vaso ⁻¹)	Al (g.vaso ⁻¹)	Matéria Seca (g.vaso ⁻¹)
Silicato de Sódio			
0	0,106 b	0,004879 a	18,34
200	0,131 ab	0,003047 ab	16,12
800	0,147 a	0,001836 b	16,38
Médias	0,128 A	0,003254 A	16,94
Casca de Arroz			
0	0,106 a	0,004879 a	18,34
200	0,118 a	0,003784 a	16,96
400	0,111 a	0,004019 a	17,62
800	0,116 a	0,003749 a	17,58
Médias	0,1128 A	0,004100 A	17,625
F (dose)	3,3411*	3,6131*	1,1321 ^{ns}
F (fonte)	5,6041*	2,7597*	0,6688 ^{ns}
F (dose*fonte)	1,7727 ^{ns}	1,0974 ^{ns}	0,1828 ^{ns}

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas entre médias, diferem entre si ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

** significativo a 1%, pelo teste de F

* significativo a 5%, pelo teste de F

^{ns}, não significativo pelo teste de F

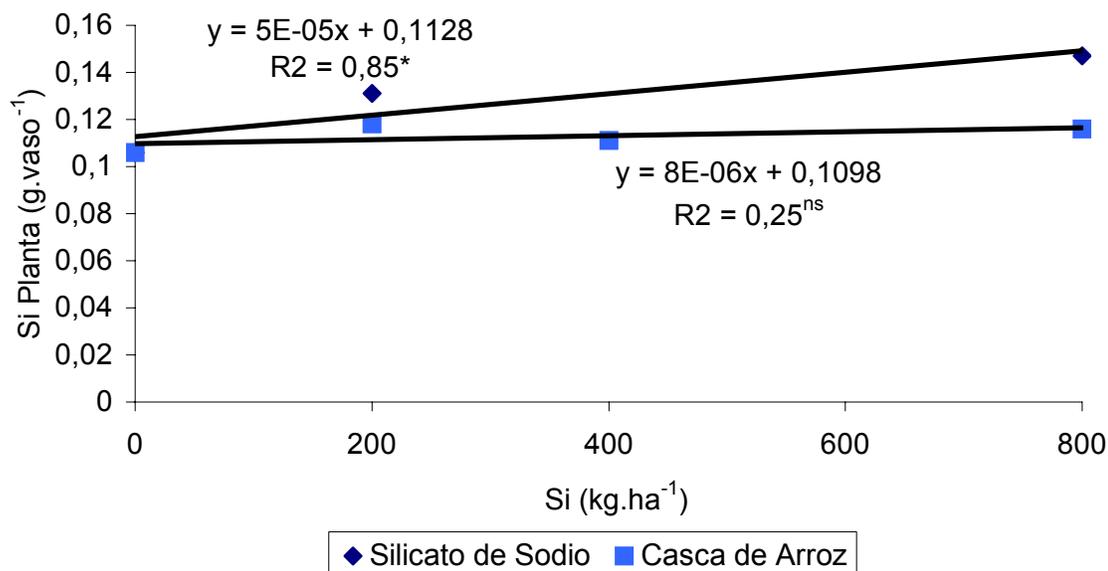


Figura 4. Efeito da Fonte de Silício Sobre os Teores de Si na Planta do Milho.

Para os valores de alumínio na planta (Figura 5), observa-se efeito linear na redução do alumínio para os tratamentos com silicato de sódio, o que pode ser explicado pela redução do alumínio trocável do solo, já explicado anteriormente, e também devido a absorção silício na forma dissociada (aniônica). Supõe-se que equivalentes quantidades de hidroxilas devem ser expelidas a partir da superfície radicular para que seja mantido o balanço de cargas, os quais podem aumentar o pH da rizosfera e reduzir a absorção de alumínio e ferro (WALLACE, 1993). O mesmo não ocorreu com a casca de arroz, onde os valores de redução do Al absorvido não foi significativo estatisticamente. Confirmando, assim, que o silício, usando como fonte o silicato de sódio, pode reduzir os efeitos do Al nas plantas, principalmente nas regiões do cerrado.

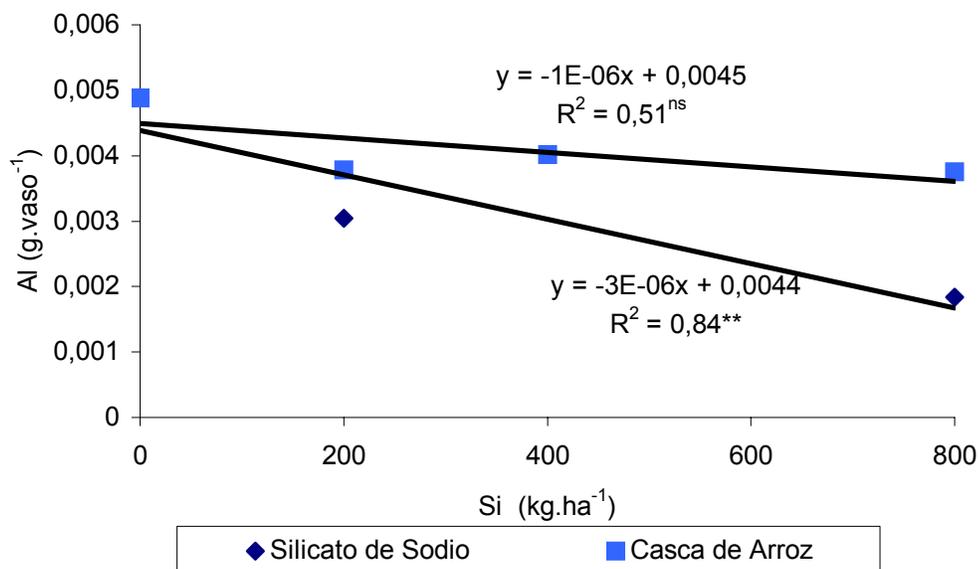


Figura 5. Efeito da Fonte de Si na Redução do Alumínio da Planta de milho

Em relação a produção de matéria seca (Tabela 4), observa-se que não houve efeito significativo, para ambas as fontes. Concordando com os resultados obtidos por RIBEIRO (1996), que trabalhou com varias dosagens de Si, usando escoria siderúrgica, na cultura do milho, no município de Uberaba-MG, onde observou a falta de resposta do silício presente na escória, o que pode estar relacionado com a baixa absorção pelo milho, bem como, a cultura do milho não responder ao silício, mesmo que presente no interior da planta.

Pode-se observar na Tabela 5, que os valores percentuais, de Si e Al na folha de milho, aumentaram quando as dosagens de silicato de sódio foram maiores, o que coincidiu com os menores valores de Al foliar. Isto nos indica que há uma relação entre os elementos, ou seja, uma alta concentração de um desses elementos, estas pouco tem do outro elemento. Resultados semelhantes foram observados por PINHEIRO FILHO (1999), que estudou o silício e o alumínio no sistema solo-planta em espécies lenhosas do cerrado, no município de Araguari-MG, onde observou que espécies que possuem altos valores de um elemento, estas pouco tem do outro elemento em suas folhas.

Tabela 5. Efeito das fontes de Si nos teores de Si e Al (%) foliar.

Si kg.ha⁻¹	Si (%)	Al (%)
0	0,578	0,027
Silicato de Sódio		
200	0,820	0,019
800	0,904	0,011
Casca de Arroz		
200	0,692	0,022
400	0,634	0,023
800	0,660	0,021

5. CONCLUSÕES

- O silicato de sódio foi mais eficiente na liberação de Si para o solo e na redução do Al trocável e no aumento do ΔpH do solo, em relação à casca de arroz;
- Não houve diferença na produção de matéria seca com a aplicação de silício em ambas as fontes e
- As plantas que absorveram mais Si apresentaram redução do Al absorvido.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas.

São Paulo: ANDA. p.62. 1992 (**Boletim técnico, 6**).

BRADY, N.C. **The nature and properties of soil**. 10.ed., New York, Macmillan

Publishing. p. 179 – 200. 1992

CRUZ, G.M. Resíduos de Culturas e Industrias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte,

9(108). 32 – 36, 1983.

DROSDOFF, M., AUBERT, G., COULTER, J., et al. **Suelos de las regiones tropicales**

humedas. Buenos Aires: Marymar Ediciones S. A. p.974. 1975

ELAWAD, S.H., GREEN Jr., V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of

recent research. **Revista IL Riso**, n. 28, p.235 - 253. 1979.

- ELLIOT, C.L., SNYDER, G.H. Autoclave – Induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **J. Agric. Food. Chem.** n. 39, p. 1118-1119. 1991.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 80p. 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **V Reunião de Classificação, correlação e aplicação de levantamentos de solo.** Recife, Ministério da Agricultura, p.121, 1998.
- FARIA, R. J. de. Influência do Silicato de Cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. 2000, 54f, **Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)** Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; SOARES, P.C.; et al. Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado. **Revista Ceres,** Viçosa. v.32, n.170, p.162-169, 1985.
- FURLANI, P.R. & HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, 8:205-208, 1984.

- GALVEZ, L.; CLARK, R.B.; GOURLEY, L.M.; MARANVILLE, J.W. Silicon interactions with manganese and aluminium toxicity in sorghum. **Journal of Plant Nutrition**. n. 10, p. 1139-1147, 1987.
- GOEDERT, W.J. Região dos cerrados: potencial agrícola e política para o seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 24(1):1-17, 1989.
- KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. Viçosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.3, p.623-629, jul./set. 1999a.
- LOPES, A.S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, p. 319. 1997.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press, London, England. 1986.
- PINHEIRO FILHO, D. Estudo do silício e do alumínio no sistema solo-planta em espécies lenhosas do cerrado, no município de Araguari-MG. 1999, 54f, **Monografia (Graduação em Agronomia)** Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG.

- RAIJ, B.V., CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. **Revista Científica do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo**, Campinas, v. 32, n.11, p. 223-231, 1973.
- RIBEIRO, C. F. Efeito da escoria de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.) num Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. 1996, 34f, **Monografia (Graduação em Agronomia)** Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG.
- RUFF, C. G. & DAVIDSON, D. T. Lime and sodium silicate stabilization of montmorillonite clay soil. **Highway Res. Board B.** 304: 76-92, 1961.
- SILVA, J.A. Plant mineral nutrition. **Yearbook of Science and technology.** McGraw - Hill Book Co, Inc. 1973.
- SMYTH, T. J., SANCHEZ, P. A. Effects of Lime, Silicate, and Phosphorus Applications to an Oxisol on Phosphorus Sorption and Ion Retention. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, vol. 44, 1980.
- SOIL AND RICE. Internacional **Rice Research Institute.** Los Banos, Philippines, 1978. 825 p.
- TAKAHASHI, Y. Effect of the form of silicon on the uptake of silicon by rice plant. Japanese. **J. Soil Sci. Plant Nutr.** v.49: 357-360 p. 1978.

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

WALLACE, A. Participation of silicon in cation-anion balance as a possible mechanism for aluminum and iron tolerance in some Gramineae. **Journal-of-plant-nutrition (USA)**. (1993). v. 16(4) p. 547-553. references. This article previously appeared as an unedited version in the Journal of Plant Nutrition, v. 15 (9), pp. 1345-1351, 1993.

WATER GLASS. In: Encyclopedia Britannica. Disponível em: <<http://www.encyclopediabritanica.com/waterglass>>. Acesso em: 11 de Agosto de 2000.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bull. Nat. Inst. Agr. Sci.** (Japan) Ser. B. 15: 1-58 p. 1975.