

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

VALTER ANTÔNIO SILVA

EFICIÊNCIA DE FONTES DE SILÍCIO PARA A CULTURA DO ARROZ

**Uberlândia
Junho – 2008**

VALTER ANTÔNIO SILVA

EFICIÊNCIA DE FONTES DE SILÍCIO PARA A CULTURA DO ARROZ

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

Orientador: Gaspar H. Korndörfer

**Uberlândia
Junho – 2008**

VALTER ANTÔNIO SILVA

EFICIÊNCIA DE FONTES DE SILÍCIO PARA A CULTURA DO ARROZ

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

Aprovado pela Banca Examinadora em 16 de junho de 2008

Eng^a Agr. M.Sc. Lucélia Alves Ramos
Membro da Banca

Eng^o Agr. Leonardo Silva Araújo
Membro da Banca

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço.....

Ao Senhor Jesus pela graça derramada em minha vida e amor indescritível.

Ao professor Gaspar H. Korndörfer pelos ensinamentos e orientação.

Aos componentes da banca examinadora, pelas críticas, sugestões e colaboração.

A todos os componentes do Grupo de Pesquisa de Silício - GPSi - pelo apoio e ajuda nestes anos que trabalhamos juntos.

A todos os meus familiares, que contribuíram para a minha formação humana, acreditam e colaboram para o meu crescimento profissional e pessoal.

À minha linda namorada, Ana Paula, pelo seu amor, carinho e compreensão.

Aos amigos da 36ª turma de agronomia pelo companheirismo e amizade nestes anos de estudos.

RESUMO

A adubação com minerais ricos em silício (Si) resulta em vários benefícios às plantas, sendo que os principais estão relacionados à ação fertilizante e corretiva das fontes silicatadas. Portanto, é necessário analisar as fontes mais promissoras e eficientes. Visando identificar fontes eficientes quanto ao fornecimento de Si para a cultura do arroz, foi instalado um experimento em vasos, utilizando-se um Neossolo Quartzarênico órtico típico, em um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. As fontes de Si utilizadas foram Fertilisilício Master e Fertilisilício Master Aditivado nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si. A curva de resposta foi estabelecida pela aplicação de uma fonte padrão (Wollastonita), nas doses de 200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de Si. Para equilibrar os valores de pH, Ca e Mg, todos os tratamentos foram balanceados com CaCO₃ e MgCO₃. Em junho de 2007, 180 dias da semeadura da cultivar Fany, avaliou-se a produção de matéria seca da parte aérea, produção de grãos, Si acumulado na planta e teores de Si no solo. Os teores de Si no solo aumentaram com a aplicação de doses crescentes de Wollastonita. O arroz respondeu positivamente às doses de Wollastonita aplicadas, quanto maior a dose, maior a absorção e acúmulo de Si. O arroz respondeu positivamente à aplicação das fontes Fertilisilício Master e Fertilisilício Master Aditivado, ambas incrementaram a produção de massa seca e de grãos se equiparando à Wollastonita e superando o tratamento testemunha.

Palavras chave: Silicatos, *Oryza sativa*, adubação.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	06
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	08
2.1 Silício na cultura do arroz.....	08
2.2 Silício no solo.....	10
2.3 Fontes de silício.....	11
3 MATEIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Características do solo utilizado.....	13
3.2 Características dos produtos utilizados.....	13
3.3 Tratamentos.....	14
3.4 Condução do experimento.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1 Avaliação da fonte padrão.....	17
4.2 Avaliação das fontes Fertilisilicio Master e Fertilisilicio Master Aditivado.....	18
5 CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

O silício (Si) é reconhecido como micronutriente benéfico devido a várias funções que este elemento desempenha nas plantas. A absorção de silício promove maior regulação da transpiração vegetal e a deposição de silício nas células epidérmicas forma uma camada de sílica a qual impede a penetração de hifas fungicas e diminui os danos causados por insetos. Em geral o fornecimento de silício ocorre através da aplicação de fontes silicatadas ao solo, as quais além de disponibilizar silício promovem a correção do pH minimizando os efeitos tóxicos do alumínio, ferro e manganês; e fornecem cálcio e magnésio que são nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal. Os efeitos mencionados são percebidos, principalmente, em gramíneas que são consideradas acumuladoras de Si, como o arroz. Vários trabalhos comprovam ser esta gramínea altamente responsiva a adubação com silício, então, devido aos benefícios observados, a aplicação de fontes de silício proporcionam maior acúmulo de matéria seca e incremento da produção de grãos da planta.

As fontes de silício são geralmente advindas de escórias da indústria siderúrgica, estes subprodutos seriam inadequados a qualquer aplicação sendo passivos ambientais capazes de poluir corpos d'água, solo e ar, salvo se preparados e destinados ao uso agrícola. Assim, tem-se outra vantagem da aplicação de Si na agricultura, a redução de impactos ambientais outrora impensáveis de serem sanados.

Vários estudos são desenvolvidos para investigar a aplicabilidade de fontes de silício na agricultura, os trabalhos são desenvolvidos com gramíneas, consideradas acumuladoras, e também com fruteiras, oleaginosas e hortícolas. Como resultado destes intensos esforços de pesquisadores do setor público e privado pode-se observar o desenvolvimento e disponibilização de diversas fontes de Si no mercado agrícola de insumos. Estes produtos são comercializados como fontes de Si, potássio, cálcio, magnésio, etc. e também como corretivos da acidez do solo.

O desenvolvimento das fontes de silício aplicável na agricultura passa pelo processo de estudo e análise do potencial agrícola, observando se as fontes apresentam as características como a disponibilização de Si no solo de forma absorvível pelas plantas, quantidades de óxido de cálcio e de magnésio adequadas, facilidade de aplicação (densidade alta), apropriada relação custo benefício e baixos teores de contaminantes do solo, como os metais pesados chumbo, cádmio etc..

Com o objetivo de determinar o valor agronômico de fontes de silício avaliou-se os produtos Fertilisilício Master (FM) e Fertilisilício Master Aditivado (FMA) quantificando a capacidade de plantas de arroz em absorver e acumular o Si proveniente dessas fontes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Silício na cultura do arroz

A área cultivada com o arroz no Brasil é aproximadamente 5 milhões de hectares com produtividade inferior a 3 t ha^{-1} . Segundo Barbosa Filho et al. (2001), entre os fatores responsáveis por esta baixa produtividade destacam-se a baixa fertilidade do solo, o déficit hídrico nos solos do cerrado e a alta suscetibilidade do arroz, principalmente, à brusone causada pelo fungo (*Pyricularia grisea*).

O aumento da produção de grãos em arroz, devido ao fornecimento de silício, tem sido observado em vários trabalhos. Faria (2000) observou aumento de produtividade em arroz, independente do solo verificou aumento linear da produção de grãos quando aplicadas doses de Si de 0 a 600 kg ha^{-1} sugerindo que doses superiores a maior dose utilizada proporcionaria produção de grãos ainda maior. A capacidade de aumentar o rendimento desta cultura se dá entre outros fatores na planta, através da diminuição da toxidez de Fe e Mn e do aumento da disponibilidade de P (HANDRECK, 1967; MA; TAKAHASHI, 1990a).

O arroz acumula silício nas células epidérmicas, na parede celular e nos exudato de transpiração dos órgãos sob forma de sílica coloidal; segundo Malavolta (1980) o silício é responsável por 1,16 a 1,49 % da matéria seca quando avaliados folha e colmo da planta, resultando numa extração de silício estimado na quantidade de $150 \text{ a } 200 \text{ kg ha}^{-1}$.

Na planta, 99% do total de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, o qual apresenta difícil solubilização. O restante, menos de 1%, encontra-se na forma coloidal ou iônica. Frey-Wyssling, citado por Jones e Handreck (1967), sugeriu que a sílica é absorvida pelas gramíneas através do fluxo de massa por processo não seletivo. No entanto, Ma (2005) observou que o transporte de Si para o interior das raízes ocorre com gasto energético, ou seja, processo de absorção ativa, pois verificou que a concentração de Si no interior de células da raiz de arroz era maior que o exterior, mas nesta condição ainda observava absorção de Si contra o gradiente de concentração.

O Si é um elemento químico envolvido em funções físicas de regulação da evapotranspiração e capaz de formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias para o interior da planta dificultando, também, o ataque de insetos sugadores e herbívoros (McNAUGHTON; TARRANTS, 1983; EPSTEIN, 1999).

Segundo Takahashi (1995), o Si acumulado na planta de arroz reduz a taxa de transpiração, diminuindo o consumo de água. Os resultados também sugerem que plantas adubadas com Si podem se tornar mais tolerantes ao déficit hídrico. Neste trabalho Takahashi (1995) observou que na tensão T3 (80% da capacidade de campo) que é considerado nível ideal de umidade no solo os incrementos na produção de grãos não foram significativos. No entanto, ao se aumentar a tensão de água T1 (60% da capacidade de campo), os aumentos na produção grãos foram lineares. Isso é um forte indicativo de que o Si possui um papel importante no aumento da tolerância das plantas de arroz ao déficit hídrico. O efeito da proteção mecânica é atribuído, principalmente, ao depósito de Si na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) na parede celular. A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor. Isso pode ser de extrema importância para as gramíneas que crescem em solos do cerrado onde o período de estiagem é longo e severo.

Acreditava-se que o Si funcionava somente como uma barreira mecânica passiva de defesa da planta contra o estresse biótico e abiótico. Fawe et al. (1998) identificaram uma proteção ativa induzida pelo Si dentro das células vegetais. Estes autores demonstraram que o Si inicia uma seqüência de reações que formam mecanismos de defesa bioquímica na planta infectada de pepino. Epstein (1999) sugere que o Si possa agir como um segundo mensageiro dentro da célula afirmando, também, que os mecanismos de defesa mobilizados pelo Si incluem acumulação de lignina, compostos fenólicos, quitinases e peroxidases.

As plantas superiores podem ser classificadas em relação ao acúmulo de Si, e a razão Si/Ca na matéria seca, como acumuladoras, não acumuladoras e intermediárias (MIYAKE; TAKAHASHI, 1983). Algumas gramíneas forrageiras (VAN SOEST, 1967), o arroz e a cana de açúcar (KORNDÖRFER, 1999) apresentam acúmulo de Si em maior abundância sendo consideradas forte acumuladoras.

O Si não é considerado entre o grupo de elementos essenciais para o crescimento das plantas, no entanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas como sorgo, milho, e algumas espécies não gramíneas como tomate e alface, tem apresentado aumento de produtividade com o aumento da disponibilidade de Si no solo para essas plantas (ELAWAD; GREEN, 1979).

Segundo o decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, fica regulamentado que a partir desta data o nutriente Silício passe a ser reconhecido legalmente como micronutriente perante a legislação maior da nação, lotada no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

(MAPA). De acordo com o próprio MAPA, essa regulamentação do Si, só fora possível pelo fato de ter sido uma constatação da pesquisa científica. Portanto, a mesma lei que regulamenta o nutriente, também exige garantias e para que estas garantias sejam justas, faz-se necessário a existência de métodos eficientes, funcionais e acessíveis a todos os órgãos oficiais e legais perante a comunidade em geral para o perfeito cumprimento da lei (BRASIL, 2004).

2.2 Silício no solo

Os minerais silicatados são os mais abundantes nos solos. O silício é o principal componente de minerais do grupo dos silicatos, compreendendo 28% da crosta terrestre, apresenta-se de forma livre ou combinada como parte dominante da fração sólida e dissolvida na solução do solo (MA et al., 2001). O Si faz parte da composição de minerais primários, como feldspatos, augita, quartzo e mica; e em secundários, como a caulinita, montmorilonita, illita e clorita (RAIJ, 1991).

As principais formas de silício presentes no solo são silício solúvel (H_4SiO_4 - ácido monossilícico) prontamente absorvido pelas plantas, que é desprovido de carga elétrica; silício adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio; minerais silicatados (cristalinos e amorfos); silício polimerizado; silício orgânico e silício na forma de fitólitos. (KORNDÖRFER et al., 2004).

O ácido monossilícico (H_4SiO_4), a forma disponível de Si na solução do solo, pode ter origem da decomposição dos resíduos de culturas, dos fertilizantes silicatados, da água de irrigação, da dissociação dos polímeros do ácido monossilícico, da dessorção dos óxidos de ferro e de alumínio ou da dissolução dos minerais do solo. Por outro lado, quando o $Si(OH)_4$ encontra-se na solução do solo pode ser adsorvido a óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, precipitar e formar minerais cristalinos ou não, formar polímeros, ser absorvido pelas plantas ou lixiviado (LIMA FILHO et al., 1999).

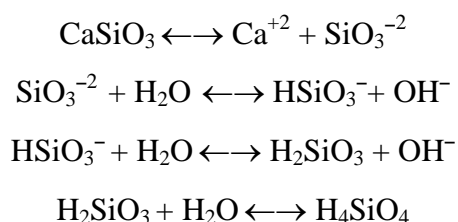
A maioria dos solos contém consideráveis quantidades de Si, mas os cultivos consecutivos podem diminuir o nível deste elemento até o ponto que a adubação com Si seja necessária para obtenção de máximas produções (ARANTES, 1997). Os solos do cerrado, de modo geral, são muito lixiviados, lavados e dessilicizados por isso deficientes neste nutriente e devera responder à adubação com silicato.

2.3 Fontes de silício

Os silicatos de cálcio e magnésio são constituídos, basicamente, de CaSiO_3 e MgSiO_3 . Os silicatos devem ser comercializados na forma de pó e quanto mais finamente moídos maior sua reatividade e eficiência agronômica (KORNDÖRFER et al., 2004). Entre os efeitos benéficos dos silicatos está a correção da acidez do solo, o fornecimento de cálcio e magnésio, além da disponibilização de silício para os vegetais.

Segundo Sanchez e Salinas (1983) a acidez do solo é o fator que mais interfere na produtividade, especialmente nas regiões tropicais. Solos com pH abaixo de 5,5, apresentam uma menor disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo, o que prejudica o desenvolvimento das plantas afetando de forma negativa a produtividade. Os prótons que promovem a acidificação do solo (H^+ e Al^{+3}) são neutralizados pela aplicação de produtos que liberam ânions, efetuando assim a correção da acidez do solo (ALCARDE; RODELLA, 2003).

A ação corretiva do silicato pode ser explicada pela reação abaixo, adaptada de Alcarde (1992), onde o mecanismo de correção da acidez pelo silicato resulta na formação de hidroxilas (OH^-), as quais reagem com os H^+ adsorvidos ao complexo de troca, e por isso, o pH do solo se eleva.



Vidal (2005) estudando 13 solos da região do Triângulo Mineiro (Brasil) mostrou que a disponibilidade de silício em ácido acético ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) foi maior com o aumento do pH na maioria dos solos estudados à exceção do Alissolo (ACt), e que, portanto pode-se esperar um aumento na disponibilidade do silício com a prática da calagem.

Com o aumento do pH e fornecimento de cálcio e magnésio os silicatos diminuem os efeitos tóxicos de elementos como o ferro, alumínio e manganês que são precipitados na forma de hidróxidos. Através da precipitação destes elementos e devido à concorrência dos cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} no percentual da CTC aumenta a disponibilidade de fósforo no solo.

As fontes de silício geralmente são advindas de escórias siderúrgicas, que são as fontes mais baratas e abundantes em silicatos. A solubilidade destas escórias é bastante variável, aquelas provenientes de alto forno apresentam maiores teores de silício, porém, pequena quantidade de silício solúvel. As escórias de aciaria apresentam menores teores de silício, no entanto, maior teor de silício solúvel (KORNDÖRFER et al., 2004).

Uma fonte de silício deve ser avaliada agronomicamente a partir da capacidade de disponibilizar silício que será absorvido resultando no aumento da produção da cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia em fevereiro a junho de 2007.

3.1 Características do solo utilizado

Foi utilizando um Neossolo Quartzarênico órtico típico, cujos atributos químicos e físicos se encontram na Tabela 1 e na Tabela 2, respectivamente..

Tabela 1. Análise química da amostra de Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo).

Solos	pH	P	Si	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	SB	m	M.O.
		-----mg dm ⁻³ -----		-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----%-----		g kg ⁻¹
RQo	4,4	5,6	3,3	1,00	0,20	0,10	0,39	1,40	5,20	7	71	15

Observações: P = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Si = (CaCl₂); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); M.O. = (Walkley-Black - EMBRAPA, 1997); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al.

Tabela 2. Análise física da amostra de terra do Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo).

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
----- g. kg ⁻¹ -----			
626	218	1	155

Observações: Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

3.2 Características dos produtos utilizados

O produto Fertilisilicio Master (FM) é um produto formado por compostos de Si na forma de SiO₂, Ca na forma de Ca (OH)₂ e CaSO₄ x H₂O e Mg na forma de Mg (OH)₂. Os sólidos se apresentam na forma de grânulos de pequeno diâmetro, variando da forma pastosa a sólida, dependendo de sua umidade. A cor predominante é cinza. O produto Fertilisilicio Master Aditivado (FMA) diferencia do FM, pois recebe posteriormente quantidades extras de Cal enriquecendo o material com Ca e Mg.

Assim foram testados os produtos indicados na Tabela 3, sendo que os mesmos foram caracterizados quanto a seus teores de Si total, Si solúvel, conforme metodologia descrita por Korndörfer et al., (2004), teores de CaO e MgO segundo EMBRAPA (1999). Os teores de metais nas fontes de silício encontram-se nas Tabelas 4 e 5. Os produtos testados foram moídos até passar 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegada). As doses dos produtos FM e FA (fontes de Si) adicionadas aos solos foram baseadas nos teores de Si total das fontes testadas.

Tabela 3. Caracterização química dos produtos Fertilisilício Master, Fertilisilício Master Aditivado e Wollastonita que foram utilizadas no experimento.

Fontes	Si Total*	Si Solúvel**	CaO	MgO
	-----%-----			
Fertilisilício Master (FM)	17,8	2,16	3,9	6,05
Fertilisilício Master Aditivado (FMA)	15,8	3,6	24,53	13,46
Wollastonita (padrão)	20,7	4,6	42,4	1,9

* Silício total em ácido fluorídrico concentrado ** Silício solúvel extraído após cinco dias em contato com o extrator (carbonato de sódio + nitrato de amônio - $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NO}_3\text{NH}_4$).

Tabela 4. Caracterização química quanto à presença de metais no produto Fertilisilício Master (Resultados INEOS).

Parâmetros	Unidade	Resultados	Obs.	L.D. ⁽¹⁾
Ni	ppm	4,5	-	1,0
Cd	ppm	< L.D.	abaixo do L.D.	0,5
PB	ppm	5,0	-	1,0

⁽¹⁾ L.D. Limite de detecção do método.

Tabela 5. Caracterização química quanto à presença de metais no produto Fertilisilício Master Aditivado (Resultados INEOS).

Parâmetros	Unidade	Resultados	Obs.	L.D. ⁽¹⁾
Ni	ppm	12,0	-	1,0
Cd	ppm	< L.D.	abaixo do L.D.	0,5
Pb	ppm	7,5	-	1,0

⁽¹⁾ L.D. Limite de detecção do método.

3.3 Tratamentos

O experimento foi elaborado com crescentes doses de Wollastonita (W), que é considerada fonte-padrão em estudos com Si, e fonte de silício denominada como Fertilisilício Master (FM) e Fertilisilício Master Aditivado (FA) produzidas pela da empresa INEOS.

Os tratamentos foram Wollastonita (200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de Si) e os produtos FM e FMA (200 e 400 kg.ha⁻¹ de Si) e mais um tratamento adicional (testemunha) como consta na Tabela 5, em delineamento de blocos casualizados (DBC) com 4 repetições.

Tabela 5. Tratamentos utilizados nos experimentos com arroz e respectivas quantidades de Si, Ca e Mg adicionados por vaso de 8 kg.

Fonte/Material	Dose Si	Si Total fonte/Material	Dose Fonte/Material	Dose Fonte/Material
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	g/8 kg solo
Testemunha	0	---	0	0
Wollastonita (padrão Si)	200	21,0	952,38	3,81
Wollastonita (padrão Si)	400	21,0	1904,76	7,62
Wollastonita (padrão Si)	600	21,0	2857,14	11,43
Wollastonita (padrão Si)	800	21,0	3809,52	15,24
Fertilísício master	200	17,8	1119,82	4,48
Fertilísício master	400	17,8	2239,64	8,96
Fertilísício master aditivado	200	15,8	1265,82	5,06
Fertilísício master aditivado	400	15,8	2531,65	10,13

3.4 Condução do experimento

Os materiais foram pesados e misturados aos solos através de betoneira, juntamente com o CaCO₃ e o MgCl₂ utilizados para o balanceamento dos teores de Ca e Mg. A adubação básica de Uréia (N) e Super Simples (P₂O₅) ambos na dosagem de 200 kg ha⁻¹; 300 kg ha⁻¹ de Cloreto de Potássio (KCl) e 0,1 g kg⁻¹ de um coquetel de micronutrientes contendo (9% Zn; 1,8% B; 2% Mn; 0,8% Cu; 0,1% Mo; 3% Fe). O fornecimento de N e K foi realizado metade na semeadura e outra parte após 20 dias, em cobertura.

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia em fevereiro de 2007, sendo que a aplicação dos tratamentos foi feita em vasos contendo 8 kg de solo seco onde permaneceu durante 15 dias incubado até a semeadura do arroz, durante esse período a umidade do solo foi mantida próxima a 80 % da capacidade de campo, sendo que a quantidade de água aplicada em cada vaso foi de aproximadamente 1.376 ml. Foram semeadas 20 sementes de arroz/vaso (cultivar Fanny). Depois de formada a terceira folha, os vasos foram inundados com uma lâmina de

água de aproximadamente 2-3 cm sendo que anteriormente havia realizado o desbaste para 6 plantas/vaso.

Aos 60 dias após emergência das plantas foram coletadas amostras de folhas para realizar análise do teor de Si foliar.

Ao final do experimento, em junho de 2007, avaliou-se a biomassa quanto à produção de matéria seca e produção de grãos/vaso. Na parte aérea das plantas foram analisados os teores de Si.

A acumulação do Si pelas plantas foi quantificada através da produção de matéria seca e teor de Si na parte aérea. A parte aérea (talo + folha) foi seca em estufa a 65⁰C por 72 horas e depois moída. A análise dos teores de Si na parte aérea seguiu os procedimentos descritos em (KORNDÖRFER et al., 2004).

Os solos dos vasos, após o corte da matéria fresca, foram amostrados e analisados quanto aos teores de Si solúvel (KORNDÖRFER et al., 2004), pH em CaCL₂, Ca²⁺ e Mg²⁺ (EMBRAPA, 1999).

Com relação à estatística aplicada, primeiramente foi realizada análise de regressão para o tratamento padrão com doses de 0, 200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de Si; e também foi feita a análise do desempenho das fontes, utilizando um esquema fatorial 3 x 2 + 1 sendo o Fertilisício Master, Fertilisício Master Aditivado e a Wollastonita em duas doses de cada material (200 e 400 kg ha⁻¹) e mais um tratamento adicional (testemunha), com quatro repetições.

Os dados coletados, tanto do solo quanto da planta, foram submetidos à análise de variância, teste de média, contrastes para comparação com o tratamento testemunha (Scott Knott a 5%) para comparação entre as fontes de silício e análise de regressão da fonte-padrão com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da fonte padrão

De maneira geral, observou-se que a aplicação de Wollastonita aumentou a disponibilidade de Si no solo (Figura 1A), o qual foi absorvido pelo sistema radicular do arroz, e se acumulou no tecido foliar (Figura 1B).

À medida que se aumentou a dose de wollastonita, de 200 para 800 kg ha⁻¹ de Si, aumentaram-se os teores de Si na folha do arroz (Figura 1 B), concordando com dados obtidos por Pereira et al. (2004) e Braga (2004).

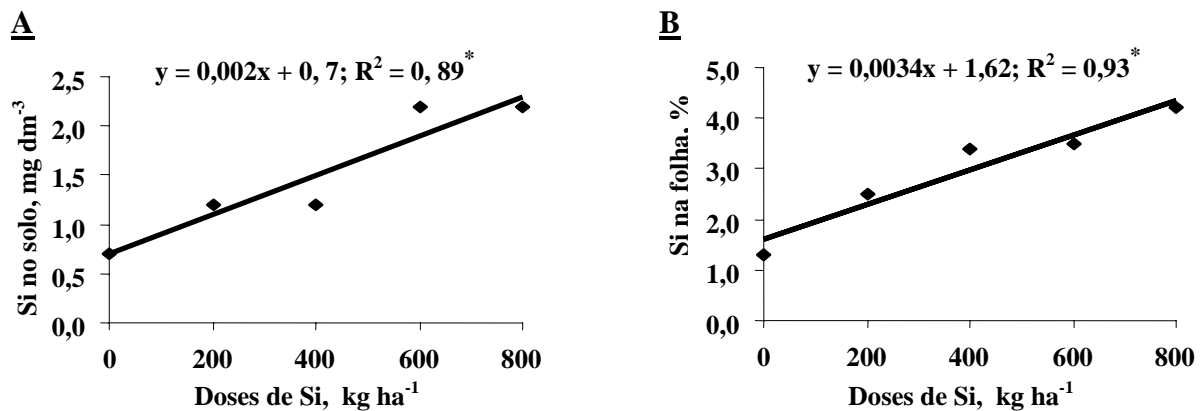


Figura 1. Teores de Si no solo (A) e Si na folha do arroz (B) coletada aos 60 dias, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita. (* Significativo 5 % pelo teste de Scott Knott).

De maneira geral, quando aumenta a dose de wollastonita de 200 para 800 kg ha⁻¹ observa aumento nos teores de massa seca da parte aérea e massa de grãos de arroz (Figura 2A e 2B). Segundo Malavolta et al. (1997) e Epstein (2006) o arroz é uma considerada planta acumuladora de Si aumentando sua produção quando há disponibilidade de silício no solo.

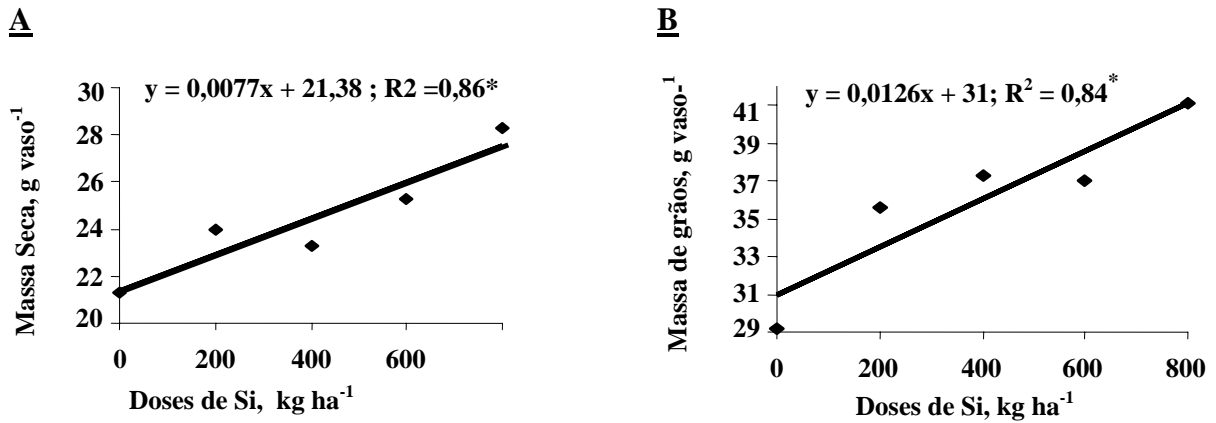


Figura 2. Produção Massa Seca (A) e Massa de Grãos (B) das plantas de arroz, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita. (* Significativo 5 % pelo teste de Scott Knott).

4.2 Avaliação das fontes Fertilisício Master e Fertilisício Master Aditivado

Em relação as variáveis apresentadas na Tabela 6 pode-se observar diferença significativa entre fontes e doses de silício utilizadas, somente nos teores de Si na folha e acumulado.

Os produtos testados não diferiram em relação à wollastonita quanto à produção de matéria seca (MSPA) e de grãos de arroz (MG) (Tabela 6). Essa constatação indica ser fontes capazes de incrementarem MSPA e MG no arroz. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira et al. (2004), que trabalhando com diferentes fontes de Si, também obtiveram aumentos significativos na produção de grãos do arroz.

O Si avaliado na folha (TSi) aos 60 dias e Si na parte aérea (TPASi) ao final do experimento mostram a superioridade da fonte Wollastonita em relação ao FA, sendo este superior ao FM. O Mesmo efeito foi notado para o Si acumulado (ASi) na parte aérea das plantas de arroz. Além disso, observa que o aumento das doses das fontes proporcionou aumento nos TSi, TPASi e ASi (Tabela 6). Souza (2007) obteve resultado semelhante detectando alteração significativa, pelo teste de F, para os teores foliares e acúmulo de Si na parte aérea do arroz com emprego de Wollastonita e outras fontes de silício.

Tabela 6. Resultado de Fertilisício Master (FM), Fertilisício Master Aditivado (FA) e Wollastonita sobre incremento de massa seca e grãos e, absorção e acúmulo de Si pelo arroz.

Dose (kg ha ⁻¹)	Fontes de Silício			Média
	FM	FA	Wollastonita	
Massa Seca Parte Aérea – MSPA (g vaso ⁻¹)				
200	25,5 ¹	22,2	24,0	23,90
400	23,7	24,2	23,3	23,73
Média	24,6	23,2	23,65	
CV(%) 10,38	F _{FORTE(F)} 0,688 ^{ns}	F _{DOSE(D)} 0,024 ^{ns}	F _{F*D} 1,259 ^{ns}	F _{BLOCO} 1,49 ^{ns}
Massa Grãos – MG (g vaso ⁻¹)				
200	31,5	30,2	35,6	32,43
400	34,0	36,2	37,3	35,83
Média	32,75	33,20	36,45	
CV(%) 13,50	F _{FORTE(F)} 1,55 ^{ns}	F _{DOSE(D)} 3,251 ^{ns}	F _{F*D} 0,475 ^{ns}	F _{BLOCO} 2,91 ^{ns}
Teor Si folha – TSi (g kg ⁻¹)				
200	16	20	25	20,3 b
400	21	25	34	26,7 a
Média	18,5 C	22,5 B	29,5 A	
CV(%) 13,46	F _{FORTE(F)} 10,7*	F _{DOSE(D)} 30,6*	F _{F*D} 0,35 ^{ns}	F _{BLOCO} 0,26 ^{ns}
Teor Si parte aérea (talo + folha) – TPASi (g kg ⁻¹)				
200	14	16	20	16,6 b
400	21	21	28	23,3 a
Média	17,5 B	18,5 B	24 A	
CV(%) 15,20	F _{FORTE(F)} 25,8*	F _{DOSE(D)} 27,415*	F _{F*D} 1,226 ^{ns}	F _{BLOCO} 0,20 ^{ns}
Si Acumulado – ASi (g vaso ⁻¹)				
200	0,36	0,35	0,48	0,40 b
400	0,51	0,51	0,66	0,56 a
Média	0,44 B	0,43 B	0,57 A	
CV(%) 21,24	F _{FORTE(F)} 5,16*	F _{DOSE(D)} 14,574*	F _{F*D} 0,045 ^{ns}	F _{BLOCO} 0,54 ^{ns}

1Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si (Scott Knott 5%). * e ^{ns}, respectivamente, significativo e não significativo a 5 % pelo teste de Scott Knott.

Os maiores teores de silício na folha e parte aérea obtidos com aplicação de wollastonita apontaria para maior produção de massa seca e grãos neste tratamento, uma vez que há aumento na produção de gramíneas com aumento da disponibilidade de Si no solo e acúmulo nas folhas segundo Green et al. (1979) e Korndörfer et al. (1999). Porém, devido à condução em ambiente de casa de vegetação, são condições controladas, onde se evitou as interferências de pragas, doenças e condições climáticas na produção poderá ter promovido igualdade estatística sobre valores de massa seca e de grãos nos tratamentos.

A Wollastonita não diferiu das fontes testadas em relação ao teor de Si disponível no solo (Tabela 7). Isso pode ser explicado pela absorção deste Si, sendo detectado na análise foliar, promovendo diferença estatística no teor na parte aérea. A absorção do silício disponível no solo, proporcionando aumento no teor de Si foliar, é de acordo com Korndörfer

et al. (1999) ao trabalhar com arroz relatou que esta espécie apresenta acúmulo de Si em elevada abundância, sendo considerada forte acumuladora e responsiva ao silício aplicado ao solo.

Tabela 7. Efeito de Fertilisício Master (FM), Fertilisício Master Aditivado (FA) e Wollastonita sobre os teores de Si, Ca e Mg trocáveis e pH do solo.

Dose (kg ha ⁻¹)	Fontes de Silício			Média
	FM	FA	Wollastonita	
	Si solo (mg kg ⁻¹)			
200	1,04	0,85	1,16	1,02
400	1,31	1,02	1,17	1,17
Média	1,18	0,94	1,17	
CV(%) 20,44	F _{FORTE(F)} 2,88 ^{ns}	F _{DOSE(D)} 2,74 ^{ns}	F _{F*D} 0,68 ^{ns}	F _{BLOCO} 2,16 ^{ns}
	Ca solo (cmol _c dm ⁻³)			
200	2,43	2,55	2,60	2,53
400	2,93	2,43	2,68	2,68
Média	2,68	2,49	2,64	
CV(%) 16,17	F _{FORTE(F)} 0,45 ^{ns}	F _{DOSE(D)} 0,764 ^{ns}	F _{F*D} 1,153 ^{ns}	F _{BLOCO} 0,623 ^{ns}
	Mg solo (cmol _c dm ⁻³)			
200	0,13	0,23	0,20	0,19
400	0,13	0,25	0,13	0,17
Média	0,13	0,24	0,17	
CV(%) 31,30	F _{FORTE(F)} 3,2 ^{ns}	F _{DOSE(D)} 0,556 ^{ns}	F _{F*D} 1,806 ^{ns}	F _{BLOCO} 1,667 ^{ns}
	pH			
200	6,65	6,80	6,65	6,70
400	6,78	6,85	6,74	6,79
Média	6,71	6,82	6,69	
CV(%) 1,70	F _{FORTE(F)} 3,54 ^{ns}	F _{DOSE(D)} 2,31 ^{ns}	F _{F*D} 0,095 ^{ns}	F _{BLOCO} 2,563 ^{ns}

1Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si (Scott Knott 5%). * e ^{ns}, respectivamente, significativo e não significativo a 5 % pelo teste de Scott Knott.

Ocorreram poucas diferenças entre os valores de pH, Ca e Mg dos solos entre as fontes e suas doses testadas (Tabela 7). Tal resultado já era esperado, já que houve o balanceamento das bases antes da semeadura. Esse resultado é muito importante porque assegura que as diferenças observadas no comportamento agrônomo das plantas se devem exclusivamente a diferença nos teores e Si disponível, não havendo interferência do pH, Ca e Mg.

Avaliando a aplicação do teste de contraste entre médias dos tratamentos, nas combinações da Tabela 8, verifica-se a superioridade das fontes de silício em relação à testemunha (tratamento sem aplicação de silício). Nesta comparação entre médias percebe-se a superioridade na produção de massa de grãos, teor de silício foliar e silício acumulado no tratamento padrão sobre o FM e FA, sendo estes superiores a testemunha. O aumento da produção de grãos e teores de silício foliar quando aplicado fontes de silício ao solo está de

acordo com Lima Filho et al. (1999) que observou que culturas acumuladoras de Si se beneficiam da aplicação deste elemento através de fontes silicatadas, principalmente em solos altamente dessilicatados, ou seja, com baixos teores de silício disponível.

Tabela 8. Contrastes para obtenção da diferença entre médias das variáveis: massa de grãos (MG), teor de silício foliar (TSi) e silício acumulado (ASi), nas combinações relacionadas.

Contrates	MG	TSi	ASi
Wollastonita vs. Testemunha	2,08**	1,78**	0,50**
FM vs. Testemunha	0,52*	0,53*	0,17*
FA vs. Testemunha	0,95**	0,60*	0,16*
FM vs. Wollastonita	-1,12**	-0,64**	-0,13*
FA vs. Wollastonita	-0,70**	-0,57**	-0,14*

**,* e ns Significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

As fontes Fertilisilicio Master e Fertilisilicio Master Aditivado:

- Incrementaram os teores de Si no solo;
- Aumentaram o fornecimento de Si para as plantas;
- Aumentaram a produção de grãos e de matéria seca do arroz

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. (ed). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.
- ALCARDE, J.C. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6).
- ARANTES, V. A. **Aplicação de silício para arroz de sequeiro cultivado em material de solos fase Cerrado**. 1997. 25f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1997.
- 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**. 2004. 123f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.
- BRASIL DECRETO Nº 2.954. Aprova o regulamento da lei Nº 6.894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas** (Texto Integral) – DEC 004954, 14 jan., Brasília (DF), 2004, 27p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro- RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1999. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.
- ELAWAD, S.H.; GREEN Jr., V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL Riso**, [S.l.], v. 28, p.235 – 253, 1979.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**: Princípios e Perspectivas. 2.ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

FAWE, A.; ABOW-ZAID, M.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**. Saint Paul, v.88; p. 396-401, 1998.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: UFSCar, 2000. p. 255-258.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**. San Diego, n.19, p.107-149. 1967.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 34 p (Boletim técnico, 2), 2004.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA,H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e magnésio na agricultura**. 3 ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 23p.(Boletim Técnico, 01).

KORNDÖRFER,G.H.; Effect of Silicon on yield. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE. Fort Lauderdale. **Anais...**, Sept 26-30, 1999. p.5.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. **O silício na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. 7p (Encarte técnico. Informações Agrônômicas, nº 87).

MA, J.F.; Silicon requirement for rice. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE III. Uberlândia. **Anais...**, Oct 22-26, 2005. p.52.

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

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. New aspects of silicon nutrition in rice plants. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE 14. Kyoto, **Anais...**, v.4, p.158-162, 1990.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

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

McNAUGHTON, S.T.; TARRANTS, J.L. Grass leaf silicification: natural selection for in inducible defence against herbivores, *Eustachys paspaloides*, *Andropogon greenwayi*, *Panicum coloratum*. **National Academy of Sciences of the United States of America. Proceedings**. v.80, n.3, p.790-791, 1983.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI; E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science Plant Nutrition**, Baltimore, v.29, p.71-83, 1983.

PEREIRA, H.S.; KONDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.16, n. 5, p. 522-528, 2004.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991, 343 p.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. **Suelos ácidos: estratégias para su manejo com bajos insumos en America tropical**. Bogotá: SCCS, 1983. 93p.

SOUZA, R. T. X. **Reatividade de escórias e wollastonita avaliadas através de métodos biológicos**. 2007. 29f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO (Ed.). **Science of the Rice Plant: Physiology**. Toquio: Food and Agriculture Policy Research Center, v. 2, 1995 p. 420-433.

VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. Use of detergent in the analysis of farmersfeeds. IV. Determination of plant cell wall constituents. **Journal of Association of Analytical Chemistry**. New York, v.50, p.50-55, 1967.

VIDAL, A. **Efeito do pH na solubilidade de silício em solos da região do Triângulo Mineiro**. 2005. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.