

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

**ALINE REZENDE VILELA**

**EFEITO DE DOSES DE FÓSFORO ASSOCIADAS A FONTES DE POTÁSSIO NA  
CULTURA DO ARROZ**

**Uberlândia – MG  
Abril - 2013**

**ALINE REZENDE VILELA**

**EFEITO DE DOSES DE FÓSFORO ASSOCIADAS A FONTES DE POTÁSSIO NA  
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: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

**Uberlândia – MG  
Março – 2013**

**ALINE REZENDE VILELA**

**EFEITO DE DOSES DE FÓSFORO ASSOCIADAS A FONTES DE POTÁSSIO NA  
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.

Aprovada pela Banca Examinadora em 15 de abril de 2013.

Eng. Agrônoma M. S. Ivaniele Nahas Duarte  
Membro da Banca

Bióloga Dr. Lilian Aparecida Oliveira  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira  
Orientador

## RESUMO

O fósforo é um nutriente muito limitante para o desenvolvimento e crescimento das plantas. O silício mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, traz inúmeros benefícios para as plantas. De modo geral, o fósforo e o silício competem pelo mesmo sítio de adsorção. Assim, fornecer silício às plantas pode reduzir a adsorção do fósforo e aumentar, conseqüentemente, sua disponibilidade em solução. O presente trabalho teve como objetivo, avaliar a disponibilidade de fósforo, silício e potássio em solo, cultivado com arroz aplicando-se doses de fósforo e duas fontes de potássio. Para isso, foi conduzido um experimento em casa de vegetação com vasos contendo 5 kg de um solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico (LVd). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses crescentes de fósforo (0, 100, 200, 300, 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e duas fontes de potássio (Cloreto de potássio e Termopotássio) na quantidade de 200 kg ha<sup>-1</sup>. Após 75 dias, foram realizadas as análises químicas do solo para obtenção das concentrações de Fósforo e Silício, e das plantas, analisando a concentração em parte aérea de Fósforo, Silício, Cálcio e Magnésio e extração de Fósforo e Silício, com base nas metodologias descritas para cada nutriente. O fósforo promoveu um aumento de produtividade com o aumento das doses e o Cloreto de potássio foi mais eficiente que o Termopotássio em aumentar a produção do arroz. O tratamento que recebeu termopotássio apresentou maior concentração de fósforo e silício em parte aérea. Além disso, o termopotássio disponibilizou Si e Ca para o solo, levando ao aumento da disponibilidade de fósforo no solo. Ao se utilizar o Cloreto de potássio, obteve-se maior concentração de fósforo em parte aérea se comparado a outra fonte (Termopotássio), ou seja, as plantas apresentaram maior capacidade de extração de fósforo com esta fonte. Já em relação à concentração de silício em parte aérea, esta foi maior quando aplicou-se termopotássio.

**Palavras-chave:** termopotássio, sítio de adsorção, solo.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	9
3.1 Avaliações químicas do solo .....	10
3.2 Avaliações químicas das plantas .....	10
3.3 Análise estatística.....	10
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	11
5 CONCLUSÃO.....	22
REFERÊNCIAS .....	23

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas no estabelecimento e na manutenção das culturas nos solos tropicais encontra-se nas concentrações extremamente baixas de fósforo disponível. A pobreza natural desses solos se deve à alta capacidade de adsorção deste elemento às partículas do solo, em consequência da elevada acidez e de altos teores de óxidos de ferro e alumínio.

O fósforo é um nutriente muito limitante para o desenvolvimento e crescimento das plantas e, conseqüentemente para a produção. É necessária a aplicação de elevadas quantidades deste elemento ao solo para suprir a deficiência e compensar a quantidade que permanece adsorvida aos colóides do solo, ficando de forma indisponível às plantas. A reação de adsorção do íon fosfato aos colóides do solo também está diretamente relacionada ao pH do mesmo, pois com a elevação do pH ocorre aumento da solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio e redução da adsorção do ânion fosfato à fase sólida do solo.

O silício mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, traz inúmeros benefícios para as plantas. O Si na forma de silicatos ( $\text{CaSiO}_3$  e  $\text{MgSiO}_3$ ) também pode ser usado como técnica alternativa para a correção da acidez do solo, substituindo total ou parcialmente o carbonato de Ca ( $\text{CaCO}_3$ ) e, ou, Mg ( $\text{MgCO}_3$ ). Estes apresentam reações semelhantes às do calcário, que, além de elevar o pH, podem disponibilizar o ânion silicato ( $\text{H}_3\text{SiO}_4$ ), que, por sua vez, pode concorrer com o ânion fosfato diácido pelos mesmos sítios de adsorção e reduzir a adsorção do fósforo.

Assim, fornecer silício às plantas pode reduzir a adsorção do fósforo e aumentar, conseqüentemente, sua disponibilidade em solução. O termopotássio é uma possível fonte de potássio que além deste nutriente, pode disponibilizar silício para o solo.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar a disponibilidade de fósforo, silício e potássio em solo, cultivado com arroz aplicando-se doses de fósforo e duas fontes de potássio.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Os solos das regiões tropicais, além da deficiência generalizada, apresentam alta capacidade de fixação de fósforo (adsorção e precipitação), limitando a produtividade das culturas nessas áreas (RAIJ, 1991). Nesses solos altamente intemperizados, predominam os minerais de argila 1:1, como a caulinita e os óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) com alta capacidade de adsorção de P. A magnitude desse fenômeno é influenciada pela natureza e quantidade dos sítios de adsorção, os quais variam de acordo com os fatores intrínsecos e extrínsecos ao próprio solo. Dentre esses fatores, destacam-se a mineralogia, a textura, o pH, o balanço de cargas, a matéria orgânica, o tipo de ácidos orgânicos e a atividade microbiana do solo (BAHIA FILHO et al., 1983).

O processo de adsorção de P pelos óxidos, hidróxidos e oxiidróxidos de ferro e alumínio é um dos principais fatores envolvidos na insolubilização desse nutriente em solos tropicais (LOPES; COX, 1979). A goethita é considerada a principal responsável pelo fenômeno de adsorção de P nos solos do Brasil Central (BAHIA FILHO et al., 1983). Essa maior capacidade de adsorção de P pelos solos goethíticos foi, também, constatada por Curi & Franzmeier (1984), sendo creditada à facilidade de acesso do fósforo aos grupos OH- de superfície (FROSSARD et al., 1994). Ocorrem, também, reações de adsorção de fósforo por minerais de argila que apresentam grupos OH expostos, tal como a caulinita, que apresenta alta afinidade pelo P (McBRIDE, 1994). De acordo com esse autor, em condições de solo ácido, o íon fósforo reage rapidamente com o octaedro de Al, pela substituição dos grupos OH localizados na superfície do mineral, formando complexos de esfera interna. Ocorrem, também, reações de precipitação do P com formas iônicas de Al e Fe em solos ácidos e Ca em meio básico, formando compostos de baixa solubilidade (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A planta ainda é o melhor indicador para se avaliar qual fonte é mais eficiente no fornecimento de um determinado elemento. O Si apresenta-se em determinados compostos (silicatos/escórias), fortemente ligados ao mineral e, portanto, pouco aproveitável pelas plantas. Assim sendo, os teores totais de Si destes compostos, nem sempre indicam seu potencial de uso como fertilizante silicatado. Existem vários materiais ricos em Si total, porém de baixa disponibilidade as plantas. Portanto, é preciso identificar e avaliar o potencial agrônomo destas fontes através de métodos biológicos. Por outro lado, o Brasil apresenta grandes reservas de resíduos (escórias) derivados da indústria siderúrgica, os quais

apresentam altos teores de Si na sua composição, porém, pouco exploradas devido à falta de conhecimento sobre o comportamento destas fontes (KORNDORFER et al., 2004b).

As características consideradas ideais de uma fonte de Si para fins agrícolas são: alto conteúdo de Si-solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, boas relações e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e ausência de potencial de contaminação do solo com metais pesados e baixo custo.

Várias escórias têm sido sugeridas para uso na agricultura com o objetivo de suprir as plantas com Si, principalmente para as culturas de arroz, cana-de-açúcar e pastagens (SAVANT et al., 1999, BARBOSA FILHO et al., 2001). Os benefícios da aplicação do silício no cultivo de plantas vem sendo demonstrada em diversos trabalhos como arroz e cana-de-açúcar (KORNDORFER et al., 2004), soja (DALTO, 2003), algodão (GAMA et al., 2004), entre outras, com resultados de aumentos de produção, redução na incidência de certas doenças e ataque de pragas.

Os benefícios do Si variam de uma espécie vegetal para outra. Muitos estudos mostram que o Si tem efeito direto e indireto no crescimento do arroz (Takahashi et al., 1990). Ganhos significativos na produção de grãos também tem sido observado no Japão, Tailândia, Indonésia, China, Colômbia, Filipinas, Florida e Brasil (TAKAHASHI et al., 1980; HO et al., 1980; BURBEY et al., 1988; SUBRAMANIAN; GOPALSWAMY, 1990, GARRITY et al., 1989; CORREA-VICTORIA et al., 1994; KORNDORFER; LEPSCH, 1999).

Em função dos resultados verificados com a aplicação de Si em todo o mundo a legislação brasileira já está tratando o Si como micronutrientes essencial para as cultura (BRASIL, 2004), mas ainda falta muitos estudo sobre as fontes, quais são eficientes e quais metodologias devem ser aplicadas em sua caracterização para se estabelecer garantias comerciais.

Sumida (1992) cita que um método que mede simultaneamente a adsorção e dissolução de Si em vários tipos de solo, com diferentes históricos de aplicação de fertilizantes, e promove elevada correlação com o Si contido na palha do arroz, seria um valioso método para diagnosticar a capacidade de suprimento de Si para solos cultivados com arroz.

O termopotássio é um material oriundo da calcinação do verdete, rocha *in natura*, sendo uma fonte mais solúvel que a sua matéria prima. A calcinação é a adição de  $\text{CaCO}_3$  ao silicato e posterior aquecimento que é feita para ocorrer a desagregação dos minerais do silicato e liberação do potássio presente nele (FRAYHA, 1950; HOROWITZ et al., 1978).

Além do potássio, outros nutrientes estão presentes no termopotássio dentre eles cálcio, magnésio e silício. A presença de quantidades consideráveis de cálcio e de magnésio no termopotássio advém da combinação de verdete com calcário no processo de obtenção do mesmo. Devido o verdete ser um silicato de potássio contém na sua composição química o silício. Este nutriente proporciona melhoria no estado nutricional das plantas, sendo observada uma redução na toxidez de ferro, manganês, alumínio e sódio, uma redução na taxa de transpiração, além de controlar doenças na planta (LIMA FILHO et al., 1999).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido na Universidade Federal de Uberlândia um experimento em casa de vegetação, no período compreendido entre julho de 2011 a julho de 2012.

O solo foi um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) cujos atributos químicos e físicos estão apresentados respectivamente nas Tabela 1 e 2.

**Tabela 1.** Análise química do solo utilizado no experimento.

Solo	PH	P	Si	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	t	CTC	V	m	M.O
		-mg dm <sup>-3</sup> -		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						--- % ---		g kg <sup>-1</sup>
LVd*	4,4	2,0	6,6	0,70	0,20	0,04	0,26	0,96	7,30	4	73	40

**Observações:** P, K = (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N); 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 / Si = CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol l<sup>-1</sup>.

\*Latossolo Vermelho distrófico

**Tabela 2.** Análise física do solo utilizado no experimento.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico Típico	90	43	33	834

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

O experimento foi instalado com cinco doses crescentes de fósforo (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), usando como fonte o MAP e duas fontes de potássio (Cloreto de potássio e Termopotássio) aplicados na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em esquema fatorial (5x2) com quatro repetições.

Os tratamentos foram aplicados 30 dias antes da semeadura, adicionado-se CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub> para elevar a saturação (V%) a 60. Antes da semeadura o solo recebeu 200 mg kg<sup>-1</sup> de nitrogênio, provenientes das fontes sulfato de amônio e 50 mg kg<sup>-1</sup> do produto FTE BR-12 contendo 9 % Zn; 7,1 % Ca; 5,7 % S; 2 % Mn; 1,8 % B; 0,8 % Cu; 0,1 % Mo. O solo foi incubado por cerca de 40 dias umedecido até próximo a 70% da capacidade máxima de retenção de água para que ocorressem as reações químicas. Após o período de incubação foi plantado aos vasos a cultura do arroz (Cultivar Primavera). Os nutrientes associados às fontes foram integralmente balanceados de tal forma que todos os vasos receberam quantidades iguais de nutrientes.

Após 20 dias da semeadura, foi feita uma adubação de cobertura com 1g.vaso<sup>-1</sup> de Sulfato de amônio e Cloreto de Potássio. Além disso, foram feitas pulverizações diárias com o fertilizante foliar Byozyme\* TF.

Aos 75 dias, foi realizado o corte das plantas de arroz, que foi levado à estufa na temperatura de 65°C durante 4 dias. Após o processo de secagem, foi feita a moagem da massa seca do arroz. Também foi feita a amostragem do solo de cada vaso do experimento.

### **3.1. Avaliações químicas do solo**

Foi feita a determinação do fósforo disponível, extraído por resina segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001). O silício extraído por CaCl<sub>2</sub> foi determinado conforme metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

O Si disponível no solo também foi determinado usando o CaCl<sub>2</sub> como extrator. O Si determinado foi correlacionado com o Si extraído pela planta de arroz buscando identificar as fontes mais eficientes.

### **3.2. Avaliações químicas das plantas**

Na planta foi feita a determinação do fósforo conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e a determinação do Si nas plantas de arroz foi feita segundo método descrito por Elliott; Snyder (1991). O P e o Si extraído pelas plantas de arroz foi correlacionado com os determinados no solo.

De posse dos resultados, interações entre doses de fósforo e silício foram correlacionadas com o fósforo e o silício absorvido pelas plantas.

### **3.3. Avaliação estatística**

O ensaio foi conduzido utilizando-se um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com o auxílio do programa estatístico Sanest e as análises de variância foram obtidas aplicando-se o teste F e as médias entre solos comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 3, que para as doses de 200, 300 e 400 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, as plantas que foram adubadas com Cloreto de potássio tiveram maior produção de matéria seca do que as adubadas com Termopotássio. Porém nas outras doses não houve diferença entre as fontes de Potássio utilizadas. Segundo Duarte et al.; (2012), no primeiro cultivo de milho, a fonte que propiciou a maior produção de matéria seca de parte aérea foi o Cloreto de potássio em comparação ao Verdete e Termopotássio.

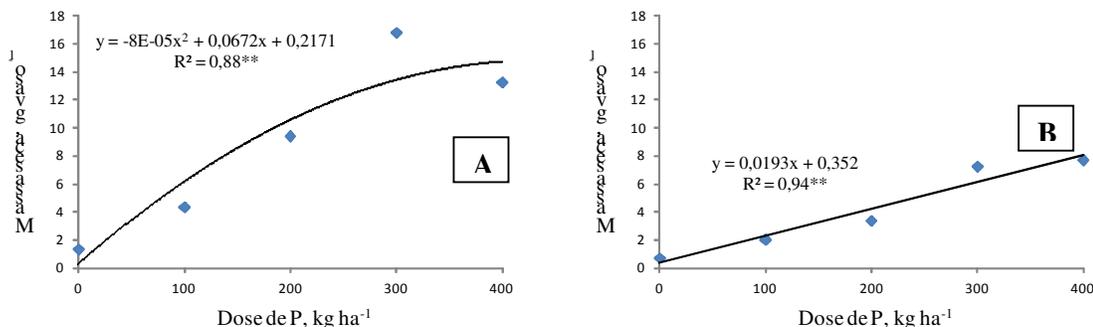
**Tabela 3.** Produção de matéria seca do arroz cultivado em amostras do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

DOSE DE P Kg ha <sup>-1</sup>	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- matéria seca (g vaso <sup>-1</sup> ) -----		
0	1,32 A	0,69 A	1,00
100	4,35 A	2,01 A	3,18
200	9,40 A	3,37 B	6,39
300	16,81 A	7,25 B	12,03
400	13,26 A	7,70 B	10,48
MÉDIA	9,03 A	4,20 B	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.  
CV = 25,57 %

Na Figura 3A verificou-se que para cada equivalente a um kg ha<sup>-1</sup> de fósforo aplicado a produção aumentou 0,352 g no vaso enquanto que na figura 3B, verificou-se que a cada equivalente a um quilo de Fósforo aplicado no tratamento que recebeu o Termopotássio, houve um aumento de 0,019 g no vaso. Isso demonstra a maior eficiência da interação fósforo X potássio do Cloreto de potássio que é mais solúvel que o Termopotássio.

De acordo com a Tabela 4, verificou-se que independente da dose de Fósforo aplicada, as plantas que tiveram como fonte o Cloreto de potássio apresentaram maior concentração de Fósforo na parte aérea do arroz do que o Termopotássio.



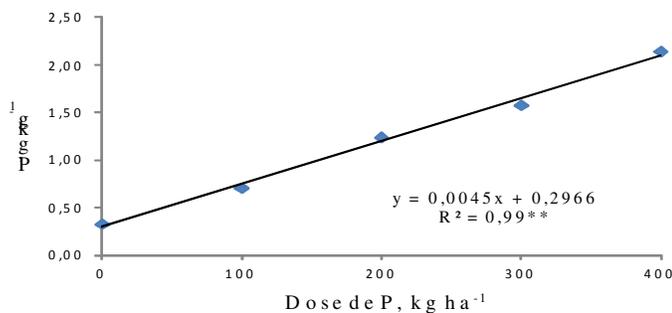
**Figura 3.** Produção de massa seca da cultura do arroz cultivado sob doses de fósforo (MAP) aplicados no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) : A) tratamento com KCl, B) tratamento com TK.

**Tabela 4.** Concentração de fósforo da parte aérea do arroz cultivado em amostras do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

DOSE DE P Kg ha <sup>-1</sup>	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- P (mg kg <sup>-1</sup> ) -----		
0	0,34	0,31	0,33
100	0,77	0,64	0,70
200	1,30	1,18	1,24
300	1,63	1,53	1,58
400	2,20	2,08	2,14
MÉDIA	1,25 A	1,15 B	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. CV = 11,59 %.

A concentração de Fósforo na parte aérea do arroz em função das doses de Fósforo, considerando a média das duas fontes utilizadas (Cloreto de potássio e Termopotássio) obteve-se um ajuste linear ( $y = 0,0045x + 0,2966$ ). Assim, quando não houve aplicação de Fósforo, a concentração de Fósforo na parte aérea foi de  $0,2966 \text{ g kg}^{-1}$  e a cada quilo de Fósforo aplicado, obteve-se um aumento no teor de Fósforo de  $0,0045 \text{ g kg}^{-1}$  (Figura 4).



**Figura 4.** Teores médios de P na massa seca do arroz de acordo com as doses de fósforo (MAP) aplicados no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd).

Na Tabela 5, observou-se que quando utilizou-se para as doses de 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não houve diferença entre os tratamentos do solo que receberam Cloreto de potássio e Termopotássio, e para as outras doses com o Cloreto de Potássio, houve maior extração de fósforo da parte aérea do arroz. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de o Cloreto de Potássio ter proporcionado maior produção de matéria seca, tendo maior vigor para absorção do fósforo no solo.

**Tabela 5.** Extração de fósforo da parte aérea do arroz cultivado em amostras do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

DOSE DE P Kg ha <sup>-1</sup>	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- extração de P (mg vaso <sup>-1</sup> ) -----		
0	0,34 A	0,31 A	0,33
100	3,34 A	1,37 A	2,36
200	12,45 A	3,98 B	8,22
300	26,94 A	10,78 B	18,86
400	28,99 A	16,00 B	22,50
MÉDIA	14,44 A	6,47 B	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.  
CV = 24,06 %

De acordo com a Tabela 6, foi possível observar que a concentração de Silício na parte aérea das plantas foi maior quando houve aplicação da fonte de Termopotássio em comparação com a de Cloreto de Potássio. Segundo Duarte et al.; (2012), outros nutrientes além do potássio, estão presentes no Termopotássio, dentre eles, cálcio, magnésio e silício. Em seu trabalho com a cultura do milho, concluíram que a concentração de silício

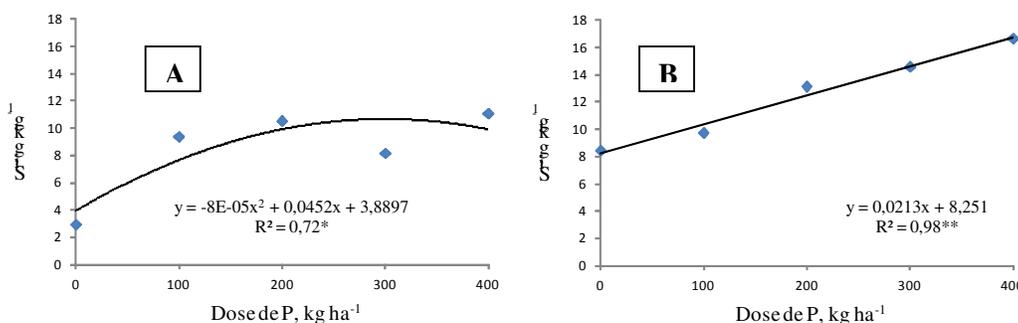
acumulado em parte aérea independente da dose utilizada, foi maior com o Termopotássio em comparação ao Verdete e Cloreto de potássio.

**Tabela 6.** Concentração de silício da parte aérea do arroz cultivado em amostras do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

DOSE DE P Kg ha <sup>-1</sup>	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- Si (mg kg <sup>-1</sup> ) -----		
0	2,9 B	8,4 A	5,7
100	9,4 A	9,7 A	9,6
200	10,5 B	13,1 A	11,8
300	8,2 B	14,6 A	11,4
400	11,1 B	16,7 A	13,9
MÉDIA	8,4 B	12,5 A	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. CV = 15,27 %

A figura 6A corresponde à aplicação de Cloreto de potássio e a 6B corresponde à aplicação de Termopotássio. Na figura 6A, à medida que se aumentaram as doses de Fósforo, no tratamento que recebeu o Cloreto de potássio, aumentou-se o teor de silício foliar até 17,03 g Kg<sup>-1</sup> de Si com a aplicação de 282,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A partir desta dose, o teor foliar de Silício tende a diminuir. Na figura 6B, verificou-se que à medida que se aumentam as doses de Fósforo, aumentou-se a concentração de Silício na parte aérea do arroz. E a cada quilo de Fósforo aplicado no tratamento que recebeu o Termopotássio, verificou-se um aumento de 0,021 g kg<sup>-1</sup> de Fósforo na parte aérea.



**Figura 6.** Teores de Si na massa seca do arroz de acordo com as doses de fósforo aplicados no Latossolo Vermelho distrófico: A) tratamento com KCl, B) tratamento com TK.

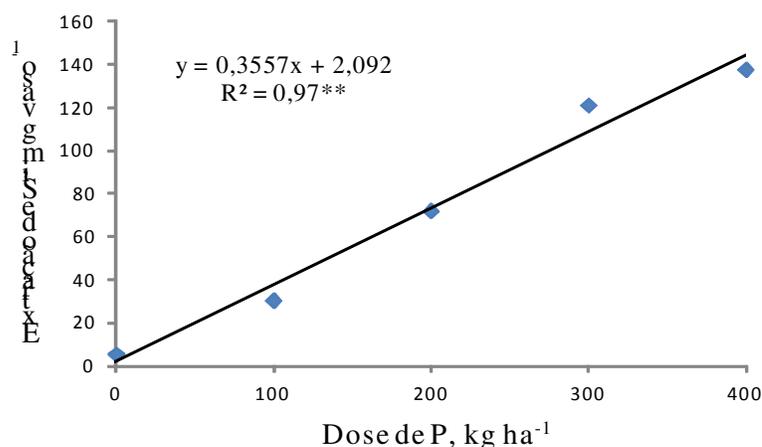
A extração de Silício não apresentou interação entre os tratamentos com fósforo e potássio, sendo que na média os tratamentos com Cloreto de potássio apresentaram uma extração maior que os tratamentos com Termopotássio. Isso era esperado, pois os tratamentos com Cloreto de potássio apresentaram maior produção de massa apesar de terem um teor menor de Si nas folhas. (Tabela 7).

**Tabela 7.** Extração de silício da parte aérea do arroz cultivado em amostras do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

DOSE DE P Kg ha <sup>-1</sup>	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- extração de Si mg vaso <sup>-1</sup> -----		
0	4,09	6,41	5,25
100	41,02	19,51	30,27
200	98,89	44,84	71,87
300	136,62	105,59	121,11
400	147,48	127,89	137,69
MÉDIA	85,62 A	60,85 B	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. CV = 27,49 %

À medida que se aumentou a dose de Fósforo, quando aplicou o Termopotássio e Cloreto de potássio, aumentou-se a extração de Silício pela parte aérea do arroz (Figura 7).



**Figura 7.** Extração de Si pela cultura do arroz de acordo com as doses de fósforo aplicados no Latossolo Vermelho distrófico.

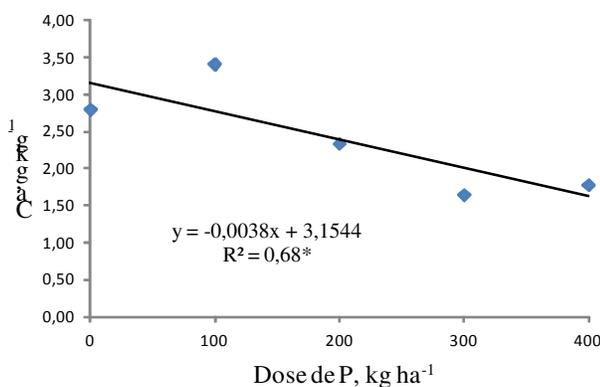
A concentração de cálcio na parte aérea das plantas de arroz quando utilizou-se o Termopotássio, foi maior do que quando se utilizou o Cloreto de Potássio. Isso foi possível, devido ao fato de o Termopotássio possuir cálcio em sua composição química (Tabela 8). Duarte et al. (2012), verificaram que independente da dose utilizada e do cultivo do milho, a concentração de cálcio em parte aérea foi maior quando utilizou-se o Termopotássio em comparação ao verdete e Cloreto de potássio.

**Tabela 8.** Concentração de cálcio da parte aérea do arroz cultivado em amostras do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

DOSE DE P Kg ha <sup>-1</sup>	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- Ca (mg kg <sup>-1</sup> ) -----		
0	3,07	2,52	2,80
100	2,18	4,64	3,41
200	1,95	2,71	2,33
300	0,82	2,48	1,65
400	1,01	2,54	1,78
MÉDIA	1,81 B	2,98 A	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.  
CV = 45,06 %

Observou-se que tanto nos tratamentos que receberam Cloreto de Potássio, quanto nos que receberam Termopotássio, à medida que se aumenta a dose de Fósforo, diminui o teor de Cálcio foliar (Figura 8).



**Figura 8.** Teores médios de Ca na massa seca do arroz de acordo com as doses de fósforo aplicados no solos Latossolo Vermelho distrófico.

Em relação à concentração de magnésio na parte aérea do arroz, verificou-se neste trabalho que não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam o Termopotássio e o Cloreto de Potássio (Tabela 9). Duarte et al.; (2012), observaram no milho que independente da dose, a concentração em parte aérea do magnésio foi maior com o termopotássio.

**Tabela 9.** Concentração de magnésio da parte aérea do arroz cultivado em amostras do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

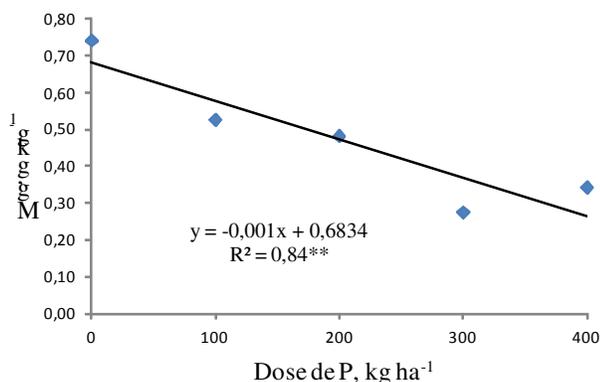
DOSE DE P Kg ha <sup>-1</sup>	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- Mg (mg kg <sup>-1</sup> ) -----		
0	0,74	0,37	0,55
100	0,53	0,60	0,57
200	0,48	0,36	0,42
300	0,28	0,39	0,33
400	0,34	0,44	0,39
MÉDIA	0,47 A	0,43 A	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.  
CV = 36,08 %

Na Figura 9, constatou-se que à medida que se aumentam as doses de Fósforo, nos tratamentos que possuem Cloreto de Potássio, diminuiu-se a quantidade de Magnésio foliar. Assim como ocorreu para o cálcio, esse efeito pode ser explicado com ao aumento de produtividade em função do aumento da dose de Fósforo, assim o Cálcio e o Magnésio ficam mais diluídos na massa seca do arroz, efeito de diluição.

Independente da dose de Fósforo aplicada, o tratamento que recebeu o Termopotássio apresentou maior concentração de Fósforo no solo do que o Cloreto de Potássio (Tabela 10). Como o Termopotássio, disponibiliza silício para o solo, este nutriente auxiliou na redução da adsorção de Fósforo no solo, devido ao fato de competirem pelo mesmo sítio de adsorção.

Carvalho et al. (2000), ao avaliar a dessorção de fósforo por silício em camadas superficiais de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cerrado e em um Cambissolo sob campo cerrado, concluíram que, sem haver alterações no pH do solo, é possível dessorver fósforo do solo pela ação do silício aplicado como silicato, numa etapa posterior à fertilização fosfatada.



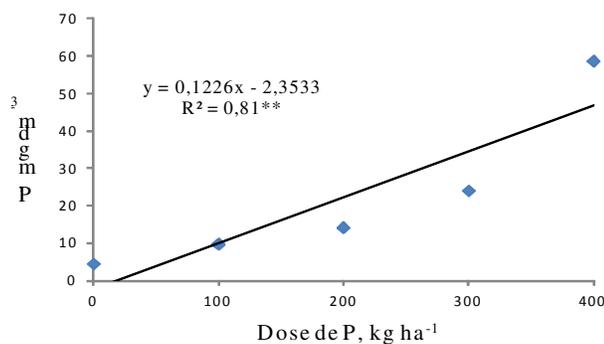
**Figura 9.** Teores de Mg na massa seca do arroz dos tratamentos com KCl de acordo com as doses de fósforo aplicados no solos LV.

**Tabela 10.** Concentração de fósforo no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) extraído por Mehlich após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

DOSE DE P Kg ha <sup>-1</sup>	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----		
0	3,78	5,10	4,44
100	8,33	11,05	9,69
200	11,05	17,25	14,15
300	22,78	25,20	23,99
400	53,78	63,45	58,61
MÉDIA	19,94 B	24,41 A	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. CV = 21,14 %

À medida que se aumentou a dose de Fósforo, com a aplicação de Termopotássio e Cloreto de potássio, aumentou-se a concentração de Fósforo no solo (Figura 10).



**Figura 10.** Teores médios de Fósforo no LVD extraído por Mehlich de acordo com as doses de fósforo aplicados ao solos.

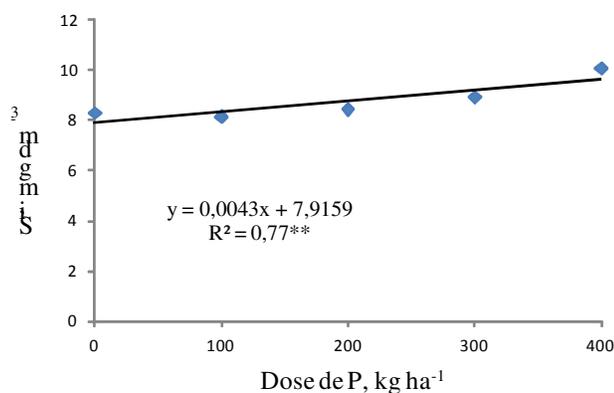
A concentração de Si no solo foi maior quando juntamente com o Fósforo aplicou-se o Termopotássio, mostrando que esta fonte disponibiliza silício para o solo (Tabela 11).

**Tabela 11.** Concentração de silício no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) extraído por  $\text{CaCl}_2$  após a aplicação de diferentes doses de fósforo e fontes de potássio.

DOSE DE P $\text{Kg ha}^{-1}$	FONTE		MÉDIA
	KCL	TK	
	----- Si ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) -----		
0	5,93	10,67	8,30
100	5,59	10,71	8,15
200	6,05	10,85	8,45
300	6,32	11,56	8,94
400	7,82	12,33	10,08
MÉDIA	6,34 B	11,23 A	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. CV = 9,07 %

Para cada kg de Fósforo aplicado ao solo, juntamente com o Termopotássio ou Cloreto de Potássio, aumentou-se em  $0,0043 \text{ mg.dm}^{-3}$  de Silício no solo, sendo que na ausência de aplicação de Fósforo, o teor de silício no solo foi de  $7,9159 \text{ mg. dm}^{-3}$  (Figura 11).



**Figura 11.** Teores médios de Si no LVd extraído por  $\text{CaCl}_2$  de acordo com as doses de fósforo aplicados aos solos.

## **5 CONCLUSÃO**

- O Cloreto de potássio proporcionou maior produção de massa seca na cultura do arroz;
- O termopotássio disponibilizou o silício para o solo, verificando também o aumento da disponibilidade de fósforo no solo.

## REFERÊNCIAS

ACCIOLLY, L.J.O.; DALBÓ, M.A.; ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Métodos para determinação do potencial de sulfato em solos. R. Bras. Ci. Solo, 9:103-106, 1985.

ALLEONI, L.R.F. Adsorção de boro em Podzólico e Latossolos paulistas. 1996. 127f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ALVARÉZ V., V.H.; FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.14, p.49-55, 1990.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo:Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 27-33, 2000.

BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M. & RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. R. Bras. Ci. Solo, 7:221-226, 1983.

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 Ciência do Solo. Viçosa, v. 25, p. 325-330, 2001<sup>a</sup>

BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.. Avaliação de fontes de silício e de extratores de silício disponível no solo.

In: II CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - COMPEEX, 2005, Goiânia. Anais eletrônico do XII Seminário de Iniciação Científica. Goiânia: UFG virtual, 2005.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado: I - Trabalhos de laboratório. *Ceres*, São Paulo, v.19, p.124-136, 1972.

BRASIL DECRETO Nº 2954. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a 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., 2004, 27 p.

BURBEY, A., RIZALDI, B., YULIZAR, Z. Response of upland rice to potassium and silicate application on Ultisol. *Pemberitaan Penelitian Sukarami*. v.15, p.26-31, 1988.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FERNANDES L. A.; OLIVEIRA JR., A. C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 24, p. 69-74, 2000.

CORREA-VICTORIA, J.F.; DATNOFF, L..E.; WINSLOW, M.D.; OKADA, K.; FRIESEN, D.K., SANZ, J.I., SNYDER, G.H. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered Savanna soils in Colombia. II. Diseases and grain quality. In: IX CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, V REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ. Anais... Goiânia, Brasil. 1994.

CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:341-346, 1984.

CUNHA, R.C.A.; CAMARGO, O.A.; KINJO, T. Aplicação de três isothermas na adsorção de zinco em oxissolos, alfissolos e ultissolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, p.15-20, 1994.

DALTO, G. Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar. PG em Agronomia/Universidade Federal de Uberlândia, 2003, 90p. (Dissertação de mestrado)

ELLIOTT, C. L. & SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *J. Agric. Food. Chem.*, v. 39, p. 1118-1119, 1991.

EMBRAPA – SNLC. Manual de método de análises de solo, 1979.

FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34:902-907, 1970.

FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M.J. & METHERELL, A. Reactions controlling the cycling of P in soils. In: TIESSEN, H., ed. *P cycling in terrestrial and aquatic ecosystem: a global perspective*. New York, John Wiley & Sons, 1994. p.1-65.

GAMA, A. J. M.; KORNDORFER, G. H.; JULIATTI, F. C.; NOLLA, A.; BUCK, G. B.; ARAÚJO, L. S. Controle de doenças fúngicas na cultura do algodão com adubação de silício via solo e foliar. In: *FERTBIO 2004*. Lages, 2004. Anais. São Paulo:Monferrer Produções (CD-ROM), 2004.

GARRITY, D.P., MAMARIL, C.P., SOEPARDI, G. Phosphorus requirements and management in upland rice-based cropping systems. In: *Proceedings of the symposium on phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania*, March 6-10, 1989, p.333-347. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.

GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; BRENÓ, N.B. & MACHADO, R.A.F. Adsorção de fósforo em solos de várzea do estado de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:27-34, 2000.

HO, D.Y., ZANG, H.L., ZHANG, X.P. On the silicon supplying ability of some important paddy soils in South China. In: *Proceedings of the symposium on paddy soils*, october, Nanjing, China, p.95, 1980. (Abstract).

KILMER, V.J. Silicon. In: "Methods of soil analysis". Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p959-962. (Agronomy, 9)

KORNDÖRFER, G.H. & I. LEPSCH. Effect of silicon on plant growth and yield. *Silicon in Agriculture*. 26-30 Sept. 1999, Fort Lauderdale, Fl

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M. S. Silicato de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia:UFU/ICIAG, 2004b. 28p. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim técnico 01)

LOPES, A.S. & COX, F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrados. R. Bras. Ci. Solo, 3:82-88, 1979.

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.

McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York, University Press, 1994. 406p.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soil solution. II. The adsorption of monosilic acid by soil and by other substances. Canadian Journal of Soil Science, v. 43, p. 83-95, 1963.

MELO, S. P. Silício e fósforo para estabelecimento do capim-marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo. Piracicaba, 2005. 110p. Tese (doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M.H. Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs. 3.ed. Boston: IRWIN, 1990. 1181p.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir Isotherm. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21:144-149, 1957.

PEREIRA, M.G. Formas de Fe, Al e Mn como índices de pedogênese e adsorção de fósforo em solos do Estado do Rio de Janeiro. 1996. 211p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PLUCKNELT, D. L. The use soluble silicate in Hawaiian agriculture. University of Queensland Papers, St. Lucia, v. 1, n. 6, p. 203-223, 1972

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H. Análise química para avaliação da fertilidade se solos tropicais. Campinas: IAC, 2001. 284p.

RAIJ, B. van; Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343P.

SAVANT, N.K.; KORNDÖRFER G.H.; SNYDER, G.H. & DATNOFF, L.E. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A review. J. Plant Nutri. New York, NY. NY. v.22, n.12, p. 1853-1903. 1999.

SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A., Effects of Lime, Silicate, and Phosphorus Applications to Oxisol on Phosphorus Sorption and Ion Retention. Soil Science Society American Journal v. 44, p. 500 – 505, 1980.

SUBRAMANIAN, S., GOPALSWAMY, A. Influence of silicate and phosphate materials on availability and uptake of silicon and phosphorus in acid soil. Oryza, v.27, p.267-273, 1990.

SUMIDA, H. Silicon Supplying Capacity of Paddy Soils and Characteristics of Silicon Uptake by Rice Plants in Cool Regions in Japan. Bull. Tohoku Natl. Agric. Exp. Stn. v. 85, p. 1-46. 1992.

TAKAHASHI, E., MA, J.F., MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. Comments of Agriculture Food Chemical. v.2, p.99-122, 1990.

TAKAHASHI, J., KANAREUGSA, C., SOMBOONDUMRONGKUL, J., PRASITTIKHET, J. The effect of silicon, magnesium and zinc on the yield of rice. In: Proceedings of the symposium on paddy soils, october 19-24, Nanjing, China, p.82-83, 1980. (Abstract).

VIDAL, A. A. Efeito do pH na solubilidade de silício em solos da região do triângulo mineiro. Uberlândia, 2005. 70p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Uberlândia.