



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**REATIVIDADE DE FONTES DE SILÍCIO E SUA
EFICIÊNCIA NA ABSORÇÃO E ACUMULAÇÃO
NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

LUCÉLIA ALVES RAMOS

2005

LUCÉLIA ALVES RAMOS

REATIVIDADE DE FONTES DE SILÍCIO E SUA EFICIÊNCIA NA ABSORÇÃO E
ACUMULAÇÃO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar H. Korndörfer

Co-orientador

Prof. Dr. Antonio Nolla

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

LUCÉLIA ALVES RAMOS

REATIVIDADE DE FONTES DE SILÍCIO E SUA EFICIÊNCIA NA ABSORÇÃO E
ACUMULAÇÃO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 03 de junho de 2005.

Prof. Dr. Antonio Nolla
(co-orientador)

UFU

Profa. Dra. Raquel de Castro Salomão Chagas

UFU

Prof. Dr. Manoel R. Guilherme

Fertion

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

R175r Ramos, Lucélia Alves, 1977-
Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado / Lucélia Alves Ramos. - 2005.
63 f. : il.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.

Co-orientador: Antonio Nolla.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Inclui bibliografia.

1. Arroz irrigado - Teses. 2. Silício na agricultura - Teses. I. Korndörfer, Gaspar Henrique. II. Nolla, Antonio. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 633.18:631.67

Agradecimentos

Agradeço.....

Em primeiro lugar a Deus por ter me dado saúde e força para concluir mais uma etapa tão importante em minha vida. Aos meus pais, Ivonete e Lindomar e irmãos, Liliane e Marcelo que sempre me apoiaram e acreditam em mim, sendo fundamentais para essa conquista...

Ao professor Gaspar, pelo conhecimento passado e credibilidade em mim depositada para conduzir esse trabalho. Ao professor Nolla pela ajuda na correção da dissertação...

A meu namorado Eli, por sempre acreditar em mim, pela paciência e incentivo sempre...

Aos meus amigos, em especial à minha “prima irmã” Nice, às companheiras de todas as horas Anelisa, Lili e Angélica, pelo apoio moral e pela ajuda no decorrer desse trabalho...

Aos amigos e estagiários do LAFER, em especial à Valéria e Carla...

Aos funcionários e técnicos do LABAS, Angélica, Andréa, Manoel, Gilda, Marinho e Eduardo...

A todos, minha imensa gratidão.....

SUMÁRIO

	Páginas
RELAÇÃO DE TABELAS-----	i
RELAÇÃO DE FIGURAS-----	iii
ANEXOS-----	v
RESUMO-----	xii
ABSTRACT-----	xiii

1 Introdução-----	1
2 Revisão Bibliográfica-----	2
2.1 Silício no solo-----	2
2.2 Efeito dos silicatos como corretivos de acidez-----	3
2.3 Fontes de silício-----	5
2.4 A cultura do arroz-----	6
2.5 Silício na planta-----	7

CAPÍTULO 1 Reatividade de fontes de silício incubadas em dois solos (Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Latossolo Vermelho Distrófico típico).

Resumo-----	12
Abstract-----	12
3.1 Introdução-----	13
3.2 Hipóteses-----	14
3.3 Material e Métodos-----	14
3.4 Análises -----	18
3.5 Resultados e Discussão-----	19
3.6 Conclusões-----	29

CAPÍTULO 2 Absorção e acúmulo de silício na cultura do arroz irrigado, em função da aplicação de diferentes fontes.

Resumo-----	30
-------------	----

Abstract-----	30
4.1 Introdução-----	31
4.2 Hipóteses-----	32
4.3 Material e métodos-----	32
4.4 Resultados e discussão-----	36
4.4.1 Silício no solo-----	36
4.4.2 Silício na planta-----	38
4.5 Conclusões-----	44
 5 Referências Bibliográficas-----	 45

LISTA DE TABELAS

		Páginas
TABELA 1-	Caracterização química do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)-----	15
TABELA 2-	Caracterização textural do Neossolo Quartzarênico Órtico Típico (RQo)-----	15
TABELA 3-	Doses das diferentes fontes silicatadas incubadas em 250 g de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)-----	15
TABELA 4-	Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVdt)-----	16
TABELA 5-	Caracterização textural do Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVdt)-----	16
TABELA 6-	Doses das diferentes fontes silicatadas incubadas em 250 g de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt)-----	17
TABELA 7-	Caracterização química das fontes de Si utilizadas no experimento 1 (RQo)-----	17
TABELA 8-	Caracterização química das fontes de Si utilizadas no experimento 2 (LVdt)-----	18
TABELA 9-	Silício disponível em ácido acético 0,5 mol L ⁻¹ e cloreto de cálcio 0,01 mol L ⁻¹ , após 60 e 120 dias de reação no solo de diferentes fontes (RQo)-----	25
TABELA 10-	Silício disponível em ácido acético 0,5 mol L ⁻¹ e cloreto de cálcio 0,01 mol L ⁻¹ , após 60 e 120 dias de reatividade de diferentes fontes de silício (LVdt)-----	26
TABELA 11-	Valores de pH e teores de Ca e Mg trocáveis, após 60 dias de reação no solo de diferentes fontes de silício (RQo)-----	27
TABELA 12-	Valores de pH e teores de Ca e Mg trocáveis, após 120 dias de reação no solo de diferentes fontes de silício (RQo)-----	27

TABELA 13-	Valores de pH e teores de Ca e Mg trocáveis, após 60 dias de reação de diferentes fontes de Si (LVdt)-----	28
TABELA 14-	Valores de pH e teores de Ca e Mg trocáveis, após 120 dias de reação de diferentes fontes de Si (LVdt)--	28
TABELA 15-	Atributos químicos das fontes de Si utilizadas no experimento com arroz -----	33
TABELA 16-	Tratamentos utilizados no experimento com arroz e respectivas quantidades de Si, Ca e Mg adicionados por vaso de 5 kg-----	33
TABELA 17-	Si disponível, existente nas amostras de solo coletadas após colheita do arroz, submetido a diferentes fontes de Si-----	37
TABELA 18-	Valores de pH e teores de Ca e Mg trocáveis, existentes nas amostras de solo coletadas após colheita do arroz, submetido a diferentes fontes de Si-	38
TABELA 19-	Teores de Si na parte aérea (talo + folha), casca e Si acumulado nas plantas de arroz, submetidas à aplicação de diferentes fontes de Si-----	42
TABELA 20-	Massa das panículas, Produção de grãos e de Matéria Seca das plantas de arroz, em função da utilização de diferentes fontes-----	42
TABELA 21-	Massa das panículas, Produção de grãos e de Matéria Seca das plantas de arroz, em função da utilização de doses de Wollastonita-----	43
TABELA 22-	Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.), em função da aplicação das diferentes fontes de Si-----	43

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
FIGURA 1- Procedimentos para instalação dos experimentos de reatividade-----	19
FIGURA 2- Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio e ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação----	20
FIGURA 3- Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio e ácido acético, em um RQo, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação-----	20
FIGURA 4- Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio e ácido acético, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação----	21
FIGURA 5- Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio e ácido acético, em um LVdt, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação-----	21
FIGURA 6- Teores de Ca no solo, em um RQo, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação-----	22
FIGURA 7- Teores de Ca no solo, em um LVdt, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação-----	22
FIGURA 8- Valores de pH em CaCl_2 de um RQo, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, após 60 e 120 dias de incubação-----	23
FIGURA 9- Valores de pH em CaCl_2 de um LVdt, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, após 60 e 120 dias de incubação-----	23

FIGURA 10-	Valores de pH em CaCl_2 dos solos (RQo e LVdt), em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	24
FIGURA 11-	Valores de pH em CaCl_2 dos solos (RQo e LVdt), em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, aos 120 dias de incubação-----	24
FIGURA 12-	Betoneira utilizada para mistura dos materiais e solo incubado por 15 dias-----	34
FIGURA 13-	Diferentes fases do arroz até o dia da coleta-----	35
FIGURA 14-	Teores de Si no solo (cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$), em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita (amostras coletadas após colheita do arroz)-----	37
FIGURA 15-	Teores de Si na parte aérea (talo + folha) do arroz, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita-----	39
FIGURA 16-	Teores de Si casca do arroz, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita-----	39
FIGURA 17-	Teor de Si acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita-----	40
FIGURA 18-	Relação entre Si extraído (cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$) e Si acumulado na parte aérea do arroz-----	40
FIGURA 19	Relação entre Si extraído (ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e Si acumulado na parte aérea do arroz-----	41

ANEXOS

	Páginas
ANEXO 1A- Quadro de análise de variância dos teores de silício, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 60 e 120 dias de incubação-----	50
ANEXO 2A- Quadro de análise de variância dos teores de silício, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 60 e 120 dias de incubação-----	50
ANEXO 3A- Quadro de análise de variância dos teores de pH no solo, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação-----	50
ANEXO 4A- Quadro de análise de variância dos teores de cálcio trocável no solo, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 60 e 120 dias de incubação-----	51
ANEXO 5A- Quadro de análise de variância dos teores de magnésio trocável no solo, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 120 dias de incubação-----	51
ANEXO 6A- Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação-----	51
ANEXO 7A- Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	51
ANEXO 8A- Regressão polinomial para teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação-----	52

ANEXO 9A-	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação--	52
ANEXO 10A-	Regressão polinomial para teores de Si no solo, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	52
ANEXO 11A-	Regressão polinomial para teores de Si no solo, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação-----	52
ANEXO 12A-	Quadro de análise de variância dos valores de pH, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação-----	53
ANEXO13A-	Regressão polinomial dos valores de pH, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	53
ANEXO 14A	Regressão polinomial dos valores de pH, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação-----	53
ANEXO 15A-	Quadro de análise de variância dos valores de cálcio trocável, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação-----	53
ANEXO 16A-	Quadro de análise de variância dos valores de magnésio trocável, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação--	54

ANEXO B

ANEXO 1B-	Quadro de análise de variância dos teores de silício, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 60 e 120 dias de incubação-----	54
ANEXO 2B-	Quadro de análise de variância dos teores de silício, extraídos em ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 60 e 120 dias de incubação-----	54
ANEXO 3B-	Quadro de análise de variância dos teores pH, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 60 e 120 dias de incubação----	54
ANEXO 4B-	Quadro de análise de variância dos teores cálcio trocável, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 60 e 120 dias de incubação-----	55
ANEXO 5B-	Quadro de análise de variância dos teores de magnésio trocável, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes, aos 60 e 120 dias de incubação-----	55
ANEXO 6B-	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	55
ANEXO 7B-	Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	56
ANEXO 8B	Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação-----	56

ANEXO 9B-	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação---	56
ANEXO 10B-	Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	56
ANEXO 11B-	Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	57
ANEXO 12B-	Quadro de análise de variância valores de pH, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação-----	57
ANEXO13B-	Regressão polinomial para valores de pH, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	57
ANEXO 14B-	Regressão polinomial para valores de pH, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação-----	57
ANEXO 15B-	Quadro de análise de variância para os valores de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação-----	58
ANEXO 16B-	Regressão polinomial para valores de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação-----	58

ANEXO 17B-	Regressão polinomial para valores de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação-----	58
ANEXO 18B-	Quadro de análise de variância para os valores de magnésio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação-----	58
ANEXO C		
ANEXO 1C-	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após colheita do arroz-----	59
ANEXO 2C-	Regressão polinomial para os teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após colheita do arroz-----	59
ANEXO 3C	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após colheita do arroz-----	59
ANEXO 4C-	Regressão polinomial para os teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após colheita do arroz-----	59
ANEXO 5C-	Quadro de análise de variância dos teores de Si na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita-----	60
ANEXO 6C-	Regressão polinomial para os teores de Si na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita-----	60

ANEXO 7C-	Quadro de análise de variância dos teores de Si acumulados na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita-----	60
ANEXO 8C	Regressão polinomial para os teores de Si acumulados na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita-----	60
ANEXO 9C-	Quadro de análise de variância para produção de grãos do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita-----	61
ANEXO 10C-	Regressão polinomial massa de panículas, em função da aplicação de doses de Wollastonita-----	61
ANEXO 11C-	Quadro de análise de variância para matéria seca do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita-----	61
ANEXO 12C-	Regressão polinomial matéria seca, em função da aplicação de doses de Wollastonita-----	61
ANEXO 13C-	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, após colheita do arroz-----	62
ANEXO 14C-	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, após colheita do arroz-----	62
ANEXO 15C-	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, após colheita do arroz-----	62
ANEXO 16C	Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, após colheita do arroz-----	62

ANEXO 17C	Quadro de análise de variância dos teores de Si na parte aérea do arroz, em função da aplicação de diferentes fontes-----	63
ANEXO 18C	Quadro de análise de variância dos teores de Si, acumulados na parte aérea do arroz, em função da aplicação de diferentes fontes-----	63
ANEXO 19C	Quadro de análise de variância para produção de grãos do arroz, em função da aplicação de diferentes fontes-----	63
ANEXO 20C	Quadro de análise de variância de massa de panículas, em função da aplicação de diferentes fontes-----	63
ANEXO 21C	Quadro de análise de variância para matéria seca do arroz, em função da aplicação de diferentes fontes-----	63

RESUMO

Lucélia Alves Ramos. **Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado.** Uberlândia: UFU, 2005. 63p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

A utilização de silicatos como fonte de silício tem proporcionado inúmeros benefícios para a agricultura, sendo os principais relacionados à ação fertilizante e corretiva dos mesmos. Com o objetivo de avaliar a eficiência agronômica de diferentes fontes de Si, foram desenvolvidos dois estudos de incubação e um estudo biológico, com a cultura do arroz. Os experimentos de reatividade foram conduzidos em épocas e em solos distintos, os quais foram analisados aos 60 e 120 dias após início da incubação. Para o primeiro ensaio utilizou-se Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), e para o segundo, Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), testando-se 7 fontes de silício. Os silicatos foram aplicados na dosagem de 200 mg kg⁻¹ de Si. Utilizou-se a Wollastonita como fonte padrão, nas doses de 50, 100, 200, 400 mg kg⁻¹ de Si. Ao final dos 60 e 120 dias de incubação, os solos foram analisados quanto aos teores de Si disponíveis em cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ e ácido acético 0,5 mol L⁻¹, pH, Ca e Mg trocáveis. Entre as fontes estudadas, Siligran e Wollastonita foram as fontes mais eficientes em disponibilizar silício para o Neossolo Quartzarênico, tanto aos 60, quanto aos 120 de incubação. As melhores fontes para o fornecimento de cálcio no Neossolo Quartzarênico foram Wollastonita e siligran AWM. Para o fornecimento de magnésio, foram pó-de-ciclone e siligran AWM. As melhores fontes para a correção de pH, no Neossolo Quartzarênico, foram pó-de-ciclone e siligran AWM. Siligran e siligran AWM, juntamente com a Wollastonita, foram mais eficientes em disponibilizar silício para o Latossolo Vermelho, tanto aos 60, quanto aos 120 dias de incubação. No Latossolo Vermelho as fontes que mais disponibilizaram cálcio e magnésio e melhor corrigiram o pH foram siligran AWM e siligran. No teste biológico instalado em vasos, com a cultura do arroz inundado, cultivar Rio Formoso, utilizou-se as fontes siligran e silicon, em pó e granulada, na dosagem de 200 mg kg⁻¹ de Si. A Wollastonita também foi utilizada como padrão, nas doses de 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de Si. As variáveis analisadas ao final do experimento foram: teores de Si no solo em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ e cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹; matéria seca, massa de panículas e de grãos; teores de Si na parte aérea e casca e Si acumulado. Os teores de silício no solo aumentaram com a aplicação de doses crescentes de Wollastonita. O arroz respondeu positivamente às doses de Wollastonita aplicadas. Quanto maior foi a dose, maior foi a absorção e acúmulo de Si. O arroz respondeu positivamente à aplicação das fontes siligran e siligran AWM. Ambas foram eficientes no fornecimento de Si para as plantas, quando se considerou o teor foliar de Si e o Si acumulado na parte aérea do arroz. O maior Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.), considerando-se Si na parte aérea e Si acumulado, foi obtido pelo siligran granulada.

¹ Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU

ABSTRACT

RAMOS, LUCELIA ALVES. **Reactivity of silicon sources and the efficiency of absorption and accumulation of silicon in flooded rice.** 2005. 63f. Dissertation (Master Program Agronomy/Soil Science) – Federal University of Uberlandia. Uberlândia.¹

Silicon Fertilization in agriculture has proportionate innumerable benefits, specially as fertilizing and corrective action. To evaluate the agronomic efficiency of different silicon sources, three studies were conducted, two of them were an incubation study using two types of soil, a sandy and a clay soil, and a biological study using flooded rice. The incubation study was carried out at times and distinct soil. The first study, was used a sandy soil and for the second study was used a clay soil, evaluating 7 silicon sources. The silicates were applied at dose: 200 mg kg⁻¹ of Si, Wollastonita was the standard silicon source at doses : 50, 100, 200, 400 mg kg⁻¹ of Si. After 60 and 120 days of incubation, a soil sample was analyzed to determine Si, pH, Ca and Mg. The most efficient sources in available Si using a sandy soil, was Siligran and Wollastonita during 60 and 120 days of incubation. Analyzing Ca availability the best silicon sources to supply Ca in a sandy soil were Wollastonita and siligran AWM, for Mg supply were po-de-ciclone and siligran AWM. The best sources to raise the pH, in sandy soil, were po-de-ciclone and siligran AWM. Siligran and siligran AWM, with the Wollastonita, were more efficient in availability Si in a clay soil, with 60 and 120 days of incubation. Analyzing the clay soil, siligran AWM and siligran, were more efficient to available Ca, Mg and pH. The biological study was carried out in pots, with flooded rice, (cv Rio Formoso), using granulated and powdered, siligran and silicon as silicon sources, at dose 200 mg kg⁻¹ of Si. The Wollastonita also was used as standard silicon source at doses: 50, 100, 200 and 400 mg kg⁻¹ of Si. The soil was sampled to analyze: Si acid acetic 0.5 mol L⁻¹ and 0.01 calcium chloride mol L⁻¹. Aerial part of the plant was analyzed to determine; dry matter, panicle mass and grains; Si in aerial part, rind and Si accumulation. The different rates of Wollasytonita increased Si in the soil. The rice answered positively with increasing rates of Wollastonita, as well with siligran and siligran AWM. The biggest Index of Efficiency Agronomic (I.E.A.), considering Si in the aerial part and Si accumulated, was gotten by siligran granulated.

¹ Guidance committee: Gaspar Henrique Korndorfer-UFU (Major Professor).

1 INTRODUÇÃO

A partir de janeiro de 2004, o silício passou a ser considerado um micronutriente pela legislação brasileira de fertilizantes, o que motivou significativamente o interesse em pesquisas envolvendo o nutriente.

No Brasil, existem produtos de origem natural, ou proveniente da indústria siderúrgica, que podem ser potencialmente aproveitados como fonte de silício. Alguns trabalhos científicos já mostraram a eficiência agrônômica de alguns materiais silicatados.

Poucas são as informações com relação às melhores fontes de silício para uso na agricultura, sendo que alguns produtos já vêm sendo comercializados como fontes desse elemento, destacam-se: os agregados siderúrgicos, utilizados para o fornecimento de Si e correção do solo, já que possuem em sua composição silicatos de Ca e Mg; subprodutos da produção de fósforo elementar; cimento; silicatos de magnésio (Serpentinitos); silicatos de potássio; termofosfatos; sílica gel e fontes naturais como a Wollastonita, que é um silicato de cálcio natural com altos teores de CaSiO_3 e alto grau de pureza utilizado como padrão para experimentos com silício.

É necessário critérios para escolher as melhores fontes de silício, os quais devem apresentar altos teores de Si solúvel, alta reatividade, baixo custo, altos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), além de baixos teores de metais pesados, em especial para os agregados siderúrgicos.

O arroz é uma das culturas mais responsivas à aplicação de silício e em alguns países, a adubação com esse elemento já é utilizada em larga escala. No Japão, por exemplo, 25 % da área cultivada com arroz recebe anualmente aplicações de silicato de cálcio que variam de 0,5 a 1,0 tonelada, demonstrando a importância da utilização do Si nesse país.

A importância da aplicação de silício para as plantas está relacionada principalmente ao aumento do crescimento e produção vegetal através de várias ações indiretas, deixando as folhas mais eretas, com diminuição do auto-sombreamento; redução ao acamamento; maior rigidez estrutural dos tecidos; proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Fe, Mn, Al e Na; diminuição na incidência de patógenos e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994 e MARSCHNER, 1995).

Em busca de novos subsídios a respeito do uso do silício na agricultura, esse trabalho objetivou estudar a reatividade de fontes de silício e sua contribuição para a melhoria do crescimento e produção da cultura do arroz.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O silício (Si) foi obtido pela primeira vez por Davy em 1809. Os primeiros estudos com êxito, em relação ao Si como fertilizante, ocorreram em 1843, sendo estes desenvolvidos por Lawer na Estação Experimental de Rothamsted, cujos resultados levaram mais de 130 anos para fornecer informações consistentes dos efeitos do Si na produtividade e resistência das plantas a doenças. No século XX, experimentos sobre os efeitos do Si foram realizados para muitas culturas, como arroz, milho, cevada, girassol e beterraba. No entanto, os mecanismos fisiológicos desse elemento, ainda hoje, não são bem conhecidos.

Muitos estudos foram realizados em diferentes universidades e estações experimentais, principalmente no Japão, onde foram obtidos resultados utilizados como base para a produção de fertilizantes silicatados. Isto alentou a continuação dos estudos dos efeitos do Si no arroz e outras culturas.

2.1 SILÍCIO NO SOLO

O Si se encontra no solo, principalmente na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (RAIJ; CAMARGO, 1973). A maior parte do H_4SiO_4 está na forma não dissociada ($\text{pK} = 9,6$), o qual pode ser prontamente absorvido pelas plantas (RAVEN, 1983). A presença do ácido silícico no solo é influenciada por fatores como: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação do silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos e adição de fertilizantes silicatados. Os principais drenos destes incluem a precipitação do silício em solução formando minerais; a polimerização do ácido silícico; a lixiviação; a adsorção em óxidos e os hidróxidos de ferro e alumínio, além da absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999). A solubilidade destes materiais silicatados depende da temperatura, pH, tamanho da partícula, composição

química e presença de rachaduras (rupturas) na sua estrutura (RAIJ; CAMARGO, 1973).

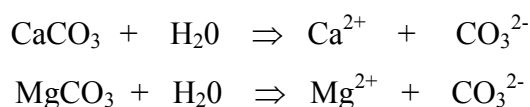
Solos extremamente intemperizados, ácidos, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação por bases ($0,6 - 1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), baixos teores de silício trocável ($< 6 \text{ mg dm}^{-3}$) e baixa relação sílica: sesquióxidos de Fe e Al ($< 0,5$) estão presentes em muitas áreas de cerrado no Brasil central. Em tais condições, é de se esperar resposta quanto à aplicação de Si na forma de fertilizantes e também como corretivos silicatados quando aplicados, principalmente, em plantas acumuladoras de Si, como a maioria das gramíneas (QUEIROZ, 2003).

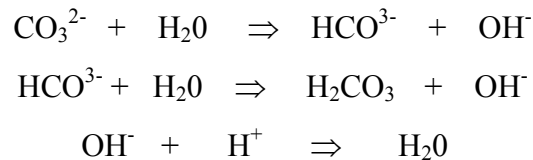
Korndörfer et al. (1999a), estudando quatro solos do Triângulo Mineiro, observaram que a disponibilidade de silício seguiu a seguinte ordem decrescente: Latossolo roxo distrófico, Latossolo vermelho-escuro, Latossolo vermelho-amarelo álico e areia quartzosa álica, encontrando valores de 10,5, 6,6, 5,7 e 3,2 mg dm^{-3} , respectivamente, em extração com ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Essa diferença está relacionada ao teor de argila onde os solos arenosos, por apresentar predominância de quartzo na composição mineralógica, tendem a adsorver menores quantidades de Si (VIDAL, 2005).

2.2 EFEITO DOS SILICATOS COMO CORRETIVOS DE ACIDEZ.

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 (NOLLA, 2003).

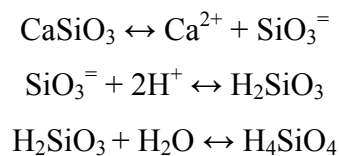
Os prótons que promovem a acidificação do solo (H^+ e Al^{+3}) são neutralizados por hidroxilas (OH^-), liberadas por produtos corretivos aplicados no solo (ALCARDE; RODELLA, 2003). Para tal, o calcário é o material mais utilizado, havendo necessidade de sua dissolução em água para a correção da acidez do solo, conforme descrito pelas equações a seguir.





Essas equações mostram que, no solo, o calcário libera Ca^+ , Mg^{+2} e CO_3^{2-} . Sendo o CO_3^{2-} uma base fraca, a reação de formação de OH^- é relativamente lenta; e o OH^- produzido neutralizará o H^+ da solução do solo, responsável pela acidez do solo. (ALCARDE, 1992).

Além do calcário, os silicatos também são usados para correção da acidez do solo, sendo que os agregados siderúrgicos são as fontes mais empregadas para esse fim. Esses materiais são constituídos por CaSiO_3 e MgSiO_3 , e assim como no calcário, sua reatividade varia segundo a granulometria, dosagem utilizada, tipo de solo e com o tempo de contato da escória com o solo (PIAU, 1991; NOVAIS et al., 1993; AMARAL SOBRINHO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1994). O mecanismo de correção da acidez pela escória resulta na formação de ácido monossilícico (H_4SiO_4), que se dissocia menos que os H^+ adsorvidos ao complexo de troca, e por isso, o pH do solo se eleva, conforme a equação adaptada de Alcarde, (1992):



É importante observar que calcário e silicatos diferem quanto à superfície específica (área de contato) e quanto ao poder de neutralização (PN). O poder corretivo das escórias pode ser superior em função da característica de suas partículas, por apresentarem uma maior superfície específica, e, teoricamente, maior reatividade (NOLLA, 2004 a). Segundo Alcarde e Rodella (2003), o silicato de cálcio apresenta uma capacidade de neutralização de acidez de 86%, em relação ao carbonato de cálcio puro, portanto, quando se aplica calcário e escória com granulometrias semelhantes (mesma reatividade - Re), as escórias são um pouco menos eficientes na elevação do pH do solo, sendo essas pequenas diferenças de eficiência atribuídas ao valor neutralizante mais baixo da escória (LOUZADA, 1987).

Queiroz (2003), realizando estudo com diversos agregados siderúrgicos, em quatro solos do cerrado, observou que o poder de correção dos silicatos de cálcio e magnésio é semelhante ao dos carbonatos de cálcio e magnésio.

Em estudo realizado por Cardoso (2003), verificou-se que os valores de pH aumentaram linearmente após a aplicação de silicato de cálcio (Calcium Corporate Flórida, USA), nas doses de 1000, 2000, 4000 e 6000 kg⁻¹. Essa elevação do pH é explicada pelo aumento de concentração de hidroxilas geradas pela reação do silicato no solo. Faria (2000) também constatou aumento linear nos valores de pH em decorrência do uso de doses crescentes de silicato de cálcio utilizadas. Ainda nesse estudo, pode-se observar que em um Latossolo Vermelho Amarelo-arenoso, o pH do solo aumentou de 4,6 para 5,1, enquanto que em um Neossolo Quartzarênico, o aumento foi de 4,2 para 4,8, com aplicação de 600 Kg ha⁻¹ de silício.

Estudos em colunas de lixiviação já demonstraram que os silicatos de cálcio e magnésio, além de corrigirem o pH do solo nas camadas mais superficiais, possuem a característica de percolar no perfil do solo, diminuindo a acidez em maiores profundidades, sendo superiores ao calcário (RAMOS, 2003; OLIVEIRA, 2004). Esse efeito é possível devido à maior solubilidade (6,73 vezes) dos silicatos em relação ao calcário (ALCARDE, 1992).

2.3 FONTES DE SILÍCIO

De um modo geral, uma fonte de silício indicada para o uso agrícola deve apresentar teores de Si solúvel com reatividade, facilidade de aplicação (densidade alta), boa relação cálcio e magnésio e teores de CaO e MgO, baixo custo e baixos teores de contaminantes do solo, como metais pesados. No mercado agrícola, existem diversos produtos comercializados como fontes de Si. No entanto, é necessário investigar e identificar as fontes com maior potencial, observando se essas apresentam as características acima mencionadas (KORNDORFER et al., 2004a). Ainda segundo Korndörfer et al. (2004a), os agregados siderúrgicos são produtos abundantes e baratos utilizados como fontes de silicatos; são provenientes da extração do ferro e do aço, originários do processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1400°C, da reação do calcário (calcítico ou dolomítico) com a sílica (SiO₂) presente no minério de ferro:



(silicato de cálcio e magnésio)

Os mesmos autores citam ainda, que a alta concentração de silicatos de Ca e Mg nas escórias possibilitam sua utilização como corretivos de acidez do solo e como fontes de Ca e Mg para as plantas, especialmente para solos arenosos com baixos teores de cátions ($\text{Ca} < 1,5$ e $\text{Mg} < 0,5$) e baixa CTC ($1,61 - 4,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

Vários estudos em campo e em casa-de-vegetação têm sido conduzidos para verificar a eficácia dos produtos utilizados como fontes de silício. De modo geral, o que se observa é que fontes de silício, como Wollastonita, escórias de alto forno (CARVALHO-PUPATTO et al., 2003), agregados siderúrgicos, xisto e termofosfato (PEREIRA et al., 2003), proporcionam incrementos nos teores de Ca e Mg trocáveis e uma elevação do pH do solo, reduzindo a concentração de Al^{+3} fitotóxico. Além do fornecimento de Ca e Mg, é importante mencionar que o uso de silicatos aumenta os teores de Si no solo, variando conforme fonte utilizada.

Queiroz (2003), estudando o efeito de várias escórias em solos do cerrado, concluiu que, dentre os vários materiais analisados, a fonte CSN alto-forno apresentou maior liberação de silício para o solo, pelo extrator ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

Em estudo realizado por Silva (2002), em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, utilizando como fonte a Wollastonita, constatou-se que os teores de silício extraídos em ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, após 56 dias de incubação, aumentaram de $13,4 \text{ mg dm}^{-3}$, no tratamento testemunha, para $39,3 \text{ mg dm}^{-3}$ na dose de 800 kg ha^{-1} , demonstrando a alta capacidade dessa fonte em liberar Si para o solo.

2.4 A CULTURA DO ARROZ

O arroz (*Oryza Sativa*) vem se destacando dentro do cenário agropecuário, sendo considerado o alimento básico de 17 países da Ásia e do Pacífico, 8 países da África, 7 países da América Latina e Caribe e 1 do Oriente Médio. Tomando como referência o conjunto de todos os países em vias de desenvolvimento, o arroz representa 27% do consumo de energia e 20% do consumo de proteínas. No Brasil, o consumo médio é de $54 \text{ kg hab ano}^{-1}$, sendo que a safra de arroz em 2003/2004, no país, ocupou uma área de

3.597.000 ha, com uma produção de 12.806.000 toneladas e uma produtividade de 3.560 kg ha⁻¹. (CONAB 2004).

No Brasil, o arroz vem sendo cultivado no sistema de várzea e terras altas. O ecossistema de várzea representou cerca de 3,2 milhões de hectares, contribuindo com 66% da produção de 10,2 milhões de toneladas, na safra de 2002/03. Nesse sistema, predomina o cultivo com irrigações controladas, ocupando cerca de 1,1 milhão de hectares na região do RS e SC, onde a cultura é manejada com alto nível tecnológico. Nos estados do RJ, ES e MG predomina o sistema de cultivo de várzea úmida, sem controle da irrigação, por pequenos produtores. As áreas do cultivo do sistema em sequeiro vêm decrescendo desde a década de 80, em decorrência do alto risco da exploração e da redução da área de fronteira agrícola (EMBRAPA, 2004).

Segundo Guimarães et al. (2002), o clima é fator de elevada importância na cultura do arroz. Dentre os fatores de origem climática que podem interferir na cultura do arroz, destacam-se a ocorrência de baixas temperaturas durante a fase reprodutiva do arroz irrigado nos Estados do Sul e a ocorrência de estiagens (veranicos), na região dos Cerrados. Segundo os mesmos autores, as injúrias comuns, devido a baixas temperaturas, são a redução da germinação e do crescimento da plântula, descoloração das folhas, degeneração de parte da panícula, emergência incompleta da panícula, retardamento da floração ou mais especificamente na microsporogênese. Yoshida (1998) sugere que o período de 7 a 14 dias antes da emissão das panículas, período esse conhecido como emborrachamento, seja considerado como o mais sensível às baixas temperaturas. O segundo estágio mais sensível é floração.

A importância do silício para a cultura do arroz já foi demonstrada por vários estudos (PEREIRA et al., 2004; CARVALHO-PUPATTO, 2003; SANTOS, 2003; BERNI e PRABHU, 2003). Os benefícios para a cultura estão relacionados com o aumento no crescimento e na produção, interações positivas com fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, aumento na resistência e estresses bióticos (doenças e pragas) e abióticos (seca, salinidade, acamamento) e aumento na produtividade em solos com altos níveis de Al, Fe e Mn (SAVANT et al. 1997).

2.5 SILÍCIO NA PLANTA

O silício é absorvido pela plantas como ácido monossilícico (H_4SiO_4), porém, seu teor é variável entre as espécies (EPSTEIN,1994). Atualmente consideram-se plantas acumuladoras de Si aquelas com teores superiores a 1%, como arroz e trigo, plantas como soja e cucurbitáceas são consideradas intermediárias, com 0,5 a 1% de Si na matéria seca, e as plantas não acumuladoras apresentam concentração de Si na matéria seca inferior a 0,5% (MA et al., 2001).

De acordo com Lima Filho et al. (1999), culturas acumuladoras de Si beneficiam-se da adubação com este elemento, em particular em solos altamente intemperizados e dessilicatados, com baixos teores ($< 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$) de Si, o que proporciona elevadas produções. Segundo Korndörfer e Datnoff (1995), o arroz e a cana-de-açúcar acumulam grandes quantidades de silício e geralmente produzem mais quando cultivadas em solos que apresentam altos teores de silício solúvel. Segundo Snyder (1991), solos com teores de Si inferiores a 10 mg dm^{-3} (ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) deveriam receber adubação com Si para obtenção de rendimentos máximos, enquanto que, em solos, com teores iguais ou superiores a 15 mg dm^{-3} , não necessitariam de adubação silicatada.

Alguns estudos citam que as plantas podem diferir quanto à capacidade de absorver silício. Yassuda (1989) relata que nas gramíneas o Si é absorvido de forma passiva, por fluxo de massa, em processos não seletivos. Porém, Ma e Takahashi (2002) mencionam que o arroz tem mecanismos específicos para a absorção de Si da solução do solo. Essa absorção ocorreria de forma ativa por proteínas de membrana sintetizadas a partir de um gen específico para esse fim. Deren et al. (1994) observou que ocorre uma resposta distinta na absorção de Si em diferentes genótipos de arroz.

Segundo Ma et al. (2001), a formação acentuada de raízes laterais no arroz tem grande influência na maior absorção de silício, podendo ser mais importante que a presença dos pêlos absorventes. A quantidade de raízes laterais é determinante, pois essas aumentam a área de absorção, garantindo maior superfície de contato com solo.

O que se conhece até hoje a respeito da absorção e acumulação de silício em plantas de arroz é que a maior parte, depois de absorvida, deposita-se no apoplasto, onde se torna imóvel. Nas folhas de arroz, forma-se uma camada de sílica abaixo da cutícula nas células epidérmicas, a qual, segundo Malavolta (1980), teria a função de limitar a perda de água e dificultar a penetração de hifas de fungos.

Faria (2000) cita que a acumulação de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual reduz a transpiração, de

forma que a exigência de água pelas plantas seja menor. Isso pode ser de extrema importância em se tratando de solos sob cerrado, em que o período de estiagem é longo e severo. Okuda e Takahashi (1964) também observaram que o aumento da concentração de silício em solução nutritiva diminuiu a taxa de transpiração das plantas, que passou de 5,1 para 3,6 ml g⁻¹ de peso fresco/24 horas nas soluções contendo Si em relação à testemunha, sem Si.

A importância da adubação com silício, principalmente na cultura do arroz, vem sendo demonstrada, também, pela eficiência no controle de doenças. Entre os diversos fatores responsáveis pela baixa produtividade do arroz, destacam-se baixa fertilidade do solo, alta suscetibilidade do arroz a brusone (*Pyricularia grisea*) e a mancha dos grãos (*Drecheslera oryzae*, *Phoma sorghina*, *Alternaria padwickii*). Dessa forma, a adubação com Si, para essa cultura, pode representar uma alternativa para preservação da saúde humana, através da diminuição do uso de fungicidas. O mecanismo de resistência a doenças é atribuído à associação do silício com constituintes da parede celular, tornando-as menos acessíveis às enzimas de degradação (BARBOSA FILHO et al., 2000).

Em estudos na cultura do arroz, Berni e Prabhu (2003), verificando a eficiência de fontes de silício, na redução da severidade de brusone nas folhas da cultivar de Metica-I em área de várzea, constataram-se que houve diminuição da variável estudada com o aumento das doses de Si.

Santos (2003), no Tocantins, trabalhando em uma área de arroz irrigado por inundação, constatou que o aumento na dose de metassilicato (42 % de SiO₂) não afetou a severidade de mancha-parda na folha bandeira, brusone nas panículas e mancha dos grãos, porém quanto maior a dose aplicada, menor foi a severidade de brusone foliar.

Inicialmente, os estudos com silício eram voltados mais para gramíneas, por estas serem acumuladoras do elemento e desenvolverem uma barreira física, impedindo a penetração de patógenos. No entanto, novas teorias sobre indução de resistência levaram alguns pesquisadores a estudar o silício em não acumuladoras como as dicotiledôneas (POZZA et al., 2004a). Nessas plantas, o silício pode agir como elemento capaz de induzir mecanismos de defesa da própria planta pela ativação de várias estratégias de defesa, incluindo síntese de fenólicos, lignina, suberina e calose na parede celular das plantas (VIDYASSEKARAN, 1997 e MENZIES et al., 1991b apud POZZA et al., 2004a).

Em estudo realizado por Pozza et al. (2004b), em mudas de cafeeiro, observou-se que plantas da variedade catuaí, com silício incorporado ao substrato apresentaram 63,2 % menos folhas lesionadas por cercosporiose e 43,0 % menos lesões, quando comparadas à testemunha, sem Si.

Nolla et al. (2004b), estudando o controle da severidade de *Peronospora manshurica* na cultura da soja, em função da aplicação de silicato e calcário, concluiu que o uso da fonte de silício no solo cultivado com soja reduziu significativamente o nível de severidade da doença, aos 47 dias após a emergência das plantas. Nolla et al. (2004c), estudando o efeito da aplicação de silicato de cálcio e calcário, na cultura da soja, no controle de *Cercospora sojina*, constatou que a aplicação de silicato reduziu significativamente o nível de severidade da doença, aos 47, 66 e 79 dias após a emergência da plantas.

O Si tem desempenhado um papel importante na proteção de algumas espécies vegetais ao ataque de insetos fitófagos. Moraes e Carvalho (2002) observaram que a adição de silicato de sódio, na proporção de 4,0 mL de solo (média de 27% de SiO₂), induziu a resistência de plantas de sorgo ao pulgão verde reduzindo sua reprodução e desenvolvimento. Goussain et al., (2002) estudando o efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), constatou que as mandíbulas das lagartas, no sexto ínstar de desenvolvimento, apresentaram desgaste acentuado na região incisora, quando em contato com folhas com maior teor de Si; e também a aplicação de Si dificultou a alimentação das lagartas, causando aumento de mortalidade e canibalismo.

O Japão foi um dos países pioneiros no uso de silício para o arroz, proporcionando altas produtividades para a cultura. No Brasil, Santos (2003), trabalhando com doses crescentes de metassilicato, observou aumentos significativos na produtividade da cultura do arroz com a maior dose aplicada (6000 kg ha⁻¹). Pereira et al. (2004), trabalhando com doses crescentes de Wollastonita na cultura do arroz, em um Neossolo Quartzarênico, obtiveram aumentos da produtividade de grãos, de 24,0 g vaso⁻¹, na testemunha, para 33,0 g vaso⁻¹, na dose de 500 kg ha⁻¹ de Si.

Na cana-de-açúcar, vários estudos já demonstraram o efeito positivo da adubação com silício para a cultura. Bittencourt et al. (2003), estudando os efeitos do silicato de cálcio em um Latossolo Vermelho Escuro, mostraram aumentos de 7% na produção de colmos de cana-de-açúcar e de 11% na produção de açúcar por hectare. Silveira Jr. et al. (2003) também obtiveram aumentos de produção de colmos na cana-

planta, com incrementos de 6,6% ou 11,0 toneladas de cana por hectare, e na cana soca, com aumentos de 11,4 % ou 12,0 toneladas de cana por hectare, pela aplicação de 4,0 toneladas de silicato por hectare.

CAPÍTULO I

RESUMO

Reatividade de fontes de silício incubadas em dois solos (Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Latossolo Vermelho Distrófico típico)

A adubação com minerais ricos em silício resulta em inúmeros benefícios às plantas, sendo que os principais estão relacionados à ação fertilizante e corretiva das fontes silicatadas. Portanto, é necessário investigar e identificar as fontes mais promissoras e eficientes. Com o objetivo de estudar a reatividade de diferentes fontes silicatadas no solo, foram conduzidos dois experimentos de incubação, utilizando-se de potes plásticos de 250 g, em um delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. O primeiro ensaio foi instalado em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo). Neste experimento, utilizou-se, sílica pó, pó de ciclone; mica marrom; siligran AWM, mica marrom fundida, sílica w. farelada e quartzo branco-pó, na dose de 200 mg kg⁻¹ de Si. Um segundo experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt). As fontes utilizadas foram: silicato de alumínio; siligran AWM; silicato de ferro e alumínio; siligran; silipar B; metassilicato e carvão SP, na dose de 200 mg kg⁻¹. Para os dois ensaios, utilizou-se a fonte padrão de Si (Wollastonita) nas doses de 0, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de Si. As fontes foram incorporadas a 250g de solo e incubadas por 120 dias. Aos 60 e 120 dias após a incubação, retirou-se uma amostra de solo para analisar quanto: ao Si em cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ e ácido acético 0,5 mol L⁻¹; ao Ca e Mg trocáveis e pH. Durante o período de incubação, manteve-se a umidade próxima a 80 % da capacidade de campo. Siligran e Wollastonita foram as fontes mais eficientes em disponibilizar silício para o Neossolo Quartzarênico, tanto aos 60, quanto aos 120 dias de incubação. As melhores fontes para o fornecimento de cálcio no Neossolo Quartzarênico foram Wollastonita e siligran AWM. Para o fornecimento de magnésio, foram pó-de-ciclone e siligran AWM. As melhores fontes para a correção de pH, no Neossolo Quartzarênico, foram pó-de-ciclone e siligran AWM. Siligran e siligran AWM, juntamente com a Wollastonita, foram as fontes mais eficientes em disponibilizar silício para o Latossolo Vermelho, tanto aos 60 quanto aos 120 dias de incubação. No Latossolo Vermelho, as fontes que mais disponibilizaram cálcio e magnésio e melhor corrigiram o pH foram siligran AWM e siligran.

Palavras-chave: pH, Ca, Mg, fontes, reatividade.

ABSTRACT

Reactivity of silicon sources in two soils (sandy soil and clay soil)

The silicon fertilization results in benefits to the plants, most of them are related to the fertilizing and corrective action of the silicon sources. Therefore it is necessary to investigate and to identify the most efficient and promising silicon sources. The aim of this experiment was to study the reactivity of different silicon sources in soil. Two experiments were carried out with plastic containers with 250g of capacity. The first assay was done in a sandy soil. The treatments included, silica powdered, pó-de-ciclone,

brown mica; siligran AWM, casting brown mica, powdered silica w. and quartz white-dust, at rate: 200 mg kg⁻¹ of Si. In a clay soil, were used: aluminum silicate; siligran AWM; silicate of iron and aluminum; siligran; silipar B; metassilicato and coal SP, at rate: 200 mg kg⁻¹ of Si. For both soils was used a standard silicon source Wollastonita at rates: 0, 50, 100, 200 and 400 mg kg⁻¹ of Si. The treatments were mixed with 250g of soil humidity close to field capacity for 120 days. After 60 and 120 days the soil was sampled and analyzed to determine: Si in calcium chloride 0.01 mol L⁻¹, acetic acid 0.5 mol L⁻¹; Ca and Mg, and pH. Siligran and Wollastonita were the most efficient silicon sources to available Si in a sandy soil during the incubation time. The best sources to supply Ca in a sandy soil were Wollastonita and siligran AWM, for Mg were po-de-ciclone and siligran AWM. The best sources to raise pH in a sandy soil were, dust-of-cyclone and siligran AWM. Siligran and siligran AWM, together with the Wollastonita, were the most efficient sources to available silicon in a clay soil, with 60 and 120 days of incubation. Siligran and siligran AWM were the most efficient sources to increase Ca, Mg and to elevate the pH in the clay soil.

Key words : pH, Ca, Mg, sources, reactivity

3.1 INTRODUÇÃO

Em solos altamente intemperizados, pobres em silício, a aplicação de fontes silicatadas como fertilizantes e corretivos pode ser de suma importância para repor e aumentar a disponibilidade desse elemento para o solo, trazendo inúmeros benefícios para as plantas, principalmente às acumuladoras desse elemento.

Sendo o silício considerado um micronutriente, desde janeiro de 2004, pela legislação brasileira de fertilizantes (BRASIL, 2004), é preciso que os produtos considerados como fontes do elemento, ao serem comercializados, garantam concentrações mínimas. Além disso, critérios como granulometria, solubilidade, boa relação Ca/Mg e ausência de contaminantes, devem ser levados em consideração para garantir a eficiência e confiabilidade das fontes silicatadas.

Dentre as fontes de silício mais utilizadas, estão os agregados siderúrgicos que são produzidos em larga escala no país, atingindo 3,0 milhões de toneladas ao ano. Por serem produzidos em tais proporções, o aproveitamento desses materiais como fontes de Si e corretivos de solo é desejável, pois se de um lado reduz o passível ambiental e as áreas de depósitos das indústrias, de outro proporciona melhores possibilidades de crescimento e desenvolvimento das culturas.

A ação dos silicatos está relacionada principalmente ao fornecimento de silício ao solo e às plantas e pelo comportamento similar aos carbonatos, ou seja, funcionam

como corretivos de acidez elevando o pH do solo, por conterem em sua composição, CaO e MgO.

Levando-se em consideração a existência de materiais de origem natural, que poderiam ser comercializados como fontes de silício e corretivos de acidez, é necessário investigar e identificar os produtos viáveis, que podem ser potencialmente aproveitados na agricultura. Para tal, foi desenvolvido um estudo visando avaliar a reatividade de fontes silicatadas no solo.

3.2 HIPÓTESES

- Os silicatos podem, além de corrigir eficientemente a acidez do solo, fornecer cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para o solo;
- A reatividade heterogênea dos silicatos resulta em uma distinta disponibilidade de silício no solo.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para determinar a reatividade e solubilidade de materiais silicatados provenientes da reação de fertilizantes com o solo, foram conduzidos dois estudos de incubação no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, ambos sem balanceamento de Ca e Mg, em um delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições.

Experimento 1- O ensaio foi iniciado em 12 de janeiro de 2004, utilizando-se como base experimental um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (Rqo típico) que foi coletado no município de Santa Vitória-MG. As características químicas e físicas do solo se encontram descritas nas TABELAS 1 e 2, respectivamente. Utilizou-se o RQo em função dos seus baixos teores de Si disponível ($0,6 \text{ mg dm}^{-3}$) e baixos teores de Ca e Mg ($0,1 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$), o que aumenta a possibilidade de resposta à adubação silicatada

TABELA 1- Caracterização química do Neossolo Quartzarênico Órtico Típico (RQo), utilizado no experimento de incubação.

pH H ₂ O	P	Si	Al	Ca	Mg	SB	T	V	m
1:2,5	-----mg dm ⁻³ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----%-----	
4,6	1,3	0,6	0,7	0,1	0,1	0,2	4,77	5,0	74

Ca, Mg, Al = (KCl 1 N); P, = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Si = (CaCl₂ 0,01mol L⁻¹) H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); T= CTC pH 7; V= Saturação por bases; MO= (Walkley-Black).

TABELA 2 – Caracterização textural do Neossolo Quartzarênico Órtico Típico (RQo).

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

Análise textural pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1999).

Os tratamentos foram misturados em 250 g de solo, em recipientes plásticos, aplicando-se doses crescentes de Wollastonita, 0, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de Si, além da aplicação dos produtos, sílica pó, pó-de-ciclone, mica marrom, siligran AWM, mica marrom fundida, sílica w. farelada e quartzo branco-pó, na dose de 200 mg kg⁻¹ de Si (TABELA 3). A Wollastonita foi utilizada como fonte padrão de Si padrão, nas doses de 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de Si. Este é um produto mundialmente empregado em estudos com silício que se caracteriza como um metassilicato de cálcio natural, comercializado como Vansil – EW 20, com altos teores de CaSiO₃, além de alto grau de pureza.

TABELA 3 - Doses das diferentes fontes silicatadas incubadas em 250 g de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo).

Fontes	Teor de Si total	Dose de Si Aplicada	Dose do produto	Dose do produto
	g kg ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----		g / 250 g de solo
Testemunha	0	0	0	0
Wollastonita	20,7	50	241,5	0,060
Wollastonita	20,7	100	483,0	0,120
Wollastonita	20,7	200	966,1	0,241
Wollastonita	20,7	400	1932,3	0,483
Sílica pó	34,7	200	583,09	0,145
Pó-de-Ciclone	6,3	200	3174,6	0,794
Mica Marrom	19,8	200	1010,1	0,252
Siligran AWM	11,3	200	1769,9	0,442

“...continua...”

“TABELA 3, Cont.”

Mica Marrom Fundida	25,0	200	800,0	0,200
Silica W. Farelada	36,7	200	545,0	0,136
Quartzo Branco-pó	38,6	200	518,13	0,130

Experimento 2 - Procedeu-se a instalação do experimento 2 em 29 de junho de 2004, utilizando-se um Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVdt típico), coletado no município de Uberlândia-MG, cujas características químicas e físicas se encontram nas TABELAS 4 e 5, respectivamente.

TABELA 4 – Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVdt).

pH H ₂ O	P	Si	Al	Ca	Mg	SB	T	V	m
1:2,5	-----mg dm ⁻³ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----%	
4,8	0,9	4,5	0,7	0,1	0,1	0,2	10,1	2,0	76

Ca, Mg, Al = (KCl 1 N); P, = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Si = (CaCl₂ 0,01mol L⁻¹) H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); T= CTC pH 7; V= Saturação por bases; MO= (Walkley-Black).

TABELA 5 – Caracterização textural do Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVdt).

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
-----g kg ⁻¹ -----			
90	43	33	834

Análise textural pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1999).

Os tratamentos foram misturados em 250 g de solo, em recipientes plásticos, aplicando-se doses crescentes de Wollastononita, 0, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de Si, além da aplicação dos produtos, silicato de alumínio, siligran AWM, silicato de ferro e alumínio, siligran, silipar B., metassilicato e carvão/SP, na dose de 200 mg kg⁻¹ de Si (TABELA 6).

Para proceder a instalação de ambos experimentos, os solos foram secos, peneirados e pesados antes da aplicação das fontes. Os materiais foram moídos e peneirados, em peneira de 50 mesh, para que obtivessem granulometria homogênea.

TABELA 6 - Doses das diferentes fontes de Si incubadas em 250 g de um Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Fontes	Teor de Si total	Dose de Si aplicada	Dose do produto	Dose do produto
	g kg ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----		g / 250 g de solo
Testemunha	0	0	0	0
Wollastonita	20,7	50	241,5	0,060
Wollastonita	20,7	100	483,0	0,120
Wollastonita	20,7	200	966,1	0,241
Wollastonita	20,7	400	1932,3	0,483
Silicato de Alumínio	23,0	200	869,6	0,22
Siligran AWM	11,3	200	1769,9	0,44
Silicato de Fe e Al	21,0	200	952,4	0,24
Siligran	12,0	200	1666,7	0,42
Silipar B	42,0	200	476,2	0,12
Metassilicato	42,0	200	476,2	0,12
Carvão/ SP	33,0	200	606,1	0,15

As doses foram definidas em função da capacidade de fornecimento de silício pelas fontes. As mesmas foram analisadas no Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia e caracterizadas quanto aos teores de silício total e solúvel (KORNDÖRFER et al., 2004b), CaO e MgO (EMBRAPA, 1999) (TABELAS 7 e 8).

TABELA 7 - Caracterização química das fontes de Si utilizadas no experimento 1 (RQo).

Fontes	Si Total	Si Solúvel*	CaO	MgO
	-----%-----			
Wollastonita (padrão)	20,7	4,6	42,4	1,9
Sílica pó	34,7	0,0	0,0	0,0
Pó de Ciclone	6,3	0,0	23,8	4,3
Mica Marron	19,8	1,0	1,4	4,3
Siligran AWM	11,3	1,0	29,7	10,0
Mica Marron Fundida	25,0	0,0	0,1	1,6
Sílica W. Farelada	36,7	0,0	0,0	0,0
Quartzo Branco pó	38,6	0,0	0,0	0,0

* Extração com NH₄NO₃ + Na₂CO₃

TABELA 8 – Caracterização química das fontes de Si utilizadas no experimento 2 (LVdt).

Fontes	Si Total	Si Solúvel*	CaO	MgO
	-----%-----			
Wollastonita (padrão)	20,7	4,6	42,4	1,9
Silicato de Alumínio	23,0	0,0	0,0	1,5
Siligran AWM	11,3	1,0	29,7	10,0
Silicato de Fe e Al	21,0	0,0	2,2	2,5
Siligran	12,0	1,0	23,0	18,0
Silipar B	42,0	0,0	0,0	0,0
Metassilicato	42,0	0,0	0,0	0,2
Carvão/ SP	33,0	0,0	2,3	10,1

* Extração com $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$

Após a instalação do experimento, os solos foram incubados por 120 dias, mantendo-se a umidade próxima a 80% da capacidade de campo.

A FIGURA 1 mostra como foram os procedimentos para a instalação dos experimentos de incubação.

3.4 ANÁLISES

Para ambos experimentos, aos 60 dias de incubação, amostrou-se o solo dos vasos, procedendo-se a secagem e moagem, determinando-se silício “disponível”, pelos métodos de extração em ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, conforme metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004b). As análises de pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, Ca e Mg trocáveis (EMBRAPA, 1999) foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS). Ao final dos experimentos, 120 dias de incubação, o restante do solo foi novamente analisado em relação às mesmas variáveis, seguindo as metodologias já descritas.

As variáveis analisadas foram submetidas ao teste de Tukey, com comparação entre as médias ao nível de 5% de probabilidade. Estabeleceram-se relações entre doses aplicadas de silicatos e os teores de nutrientes (Si, Ca, Mg) e pH do solo.



FIGURA 1 - Procedimentos para instalação dos experimentos de reatividade

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de silício solúvel, extraídos no Neossolo Quartzarêncio, tanto em ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, quanto e em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, após 60 e 120 dias de incubação, aumentaram significativamente com as doses de silicato (Wollastonita) aplicadas (FIGURAS 1 e 2), concordando com dados obtidos por Vidal (2003). O mesmo efeito é notado observando os resultados encontrados no Latossolo Vermelho (FIGURAS 3 e 4). Os valores de Si solúvel variaram de $0,77 \text{ mg kg}^{-1}$ até $10,37 \text{ mg kg}^{-1}$, no Neossolo Quartzarêncio, e de $3,06 \text{ mg kg}^{-1}$ até $9,80 \text{ mg kg}^{-1}$, no Latossolo Vermelho, aos 60 dias de incubação, no extrator CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (FIGURAS 1 e 3). Isso demonstra, de

forma geral, a eficiência e solubilidade da Wollastonita, disponibilizando silício em solução.

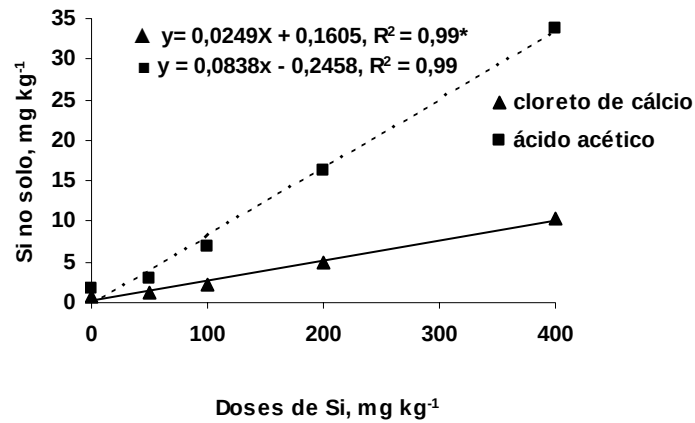


FIGURA 2– Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio e ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação.

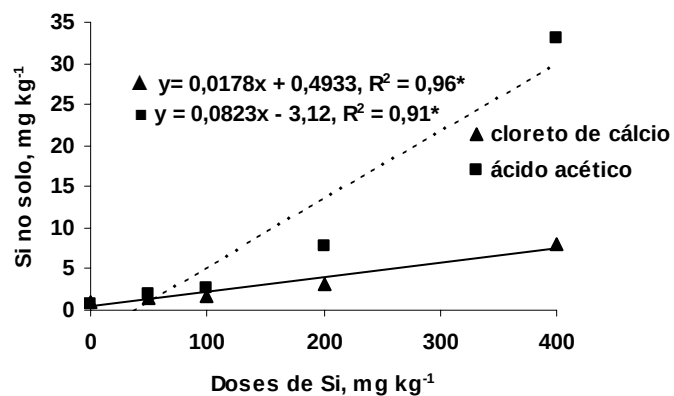


FIGURA 3 - Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio e ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 120 dias de incubação.

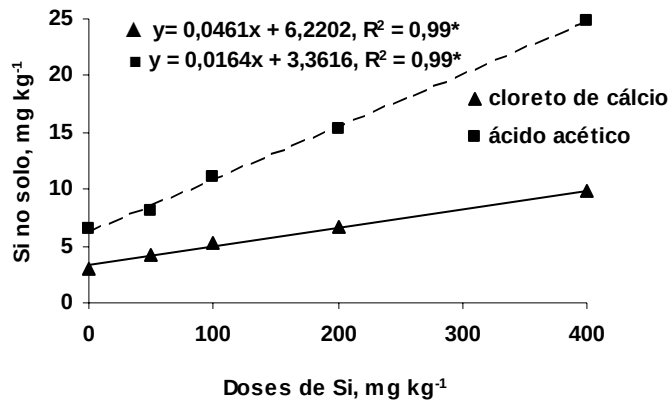


FIGURA 4 - Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio e ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação.

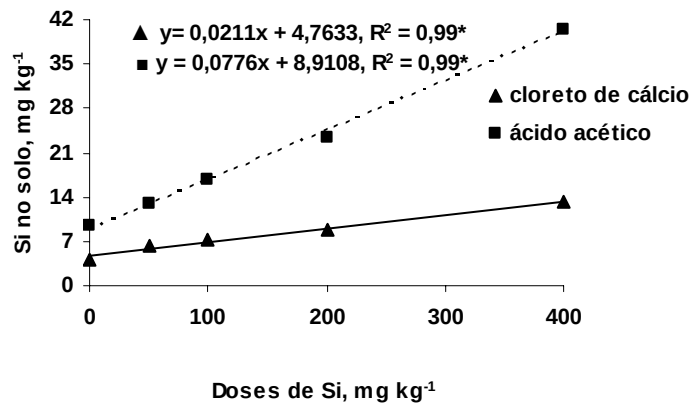


FIGURA 5 - Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio e ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 120 dias de incubação.

De um modo geral, o comportamento da Wollastonita foi o mesmo tanto para 60, quanto para 120 dias de incubação, em ambos solos. Como já esperado, os teores de Si extraídos em ácido acético foram maiores que os encontrados em cloreto de cálcio (FIGURAS 1, 2, 3 e 4), concordando com resultados obtidos por Martins (2004). Segundo a autora, esses resultados indicam que o ácido acético pode estar superestimando os valores de Si nos solos que receberam silicatos recentemente, provavelmente em função da dissolução provocada pela acidez do ácido acético, e liberando silício para a solução do solo.

Pereira et al. (2004) explica que o ácido acético pode solubilizar algumas fontes de silício não disponíveis para as plantas que estão presentes no solo ou foram

aplicadas, superestimando a disponibilidade de Si, enquanto que esses mesmos materiais (fontes de Si) não são solúveis em cloreto de cálcio.

O teor de Ca trocável, no Neossolo Quartzarêncio, aumentou com as doses de Wollastonita, nas duas épocas de avaliação (FIGURA 5). Esses aumentos são devidos à característica da fonte, um silicato de cálcio de alta pureza, que garante o incremento de Ca em solução.

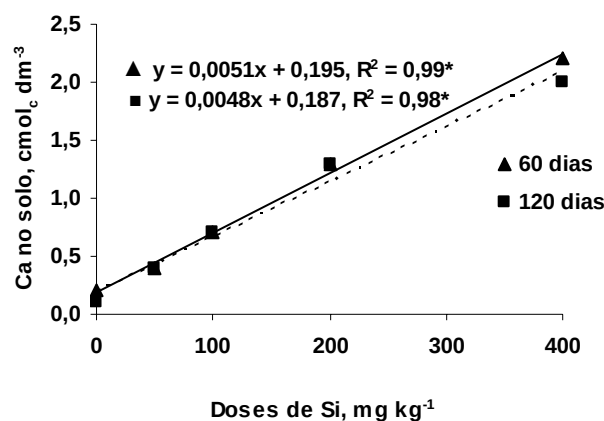


FIGURA 6 – Teores de Ca no solo, em um Neossolo Quartzarêncio Órtico típico, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

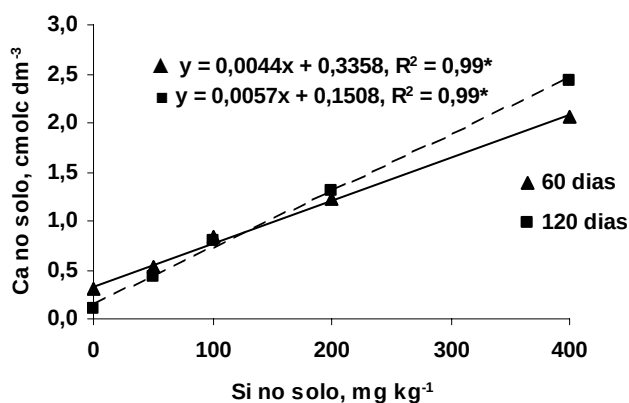


FIGURA 7 – Teores de Ca no solo, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

O incremento das doses de Wollastonita proporcionou aumentos significativos do pH dos solos (Neossolo Quartzarêncio e Latossolo Vermelho), tanto aos 60, quanto

aos 120 dias de incubação (FIGURAS 7 e 8). A presença do silicato (SiO_3^{-2}) é capaz de neutralizar os prótons (H^+), segundo a equação descrita por Alcarde (1992), que mostra o efeito do silicato de cálcio e magnésio sobre o pH do solo. Quanto maior a dose de silicato aplicada, maior o pH do solo (KORNDÖRFER et al., 2002 e CARDOSO, 2003). A aplicação do silicato aumenta o pH do solo, isso faz com que ocorra o aumento de disponibilidade de Si, em função do aumento da CTC e da quantidade de hidroxilas geradas.

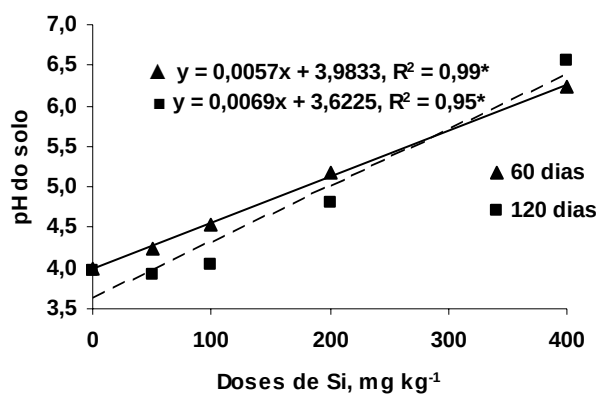


FIGURA 8 – Valores de pH em CaCl_2 de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, após 60 e 120 dias de incubação.

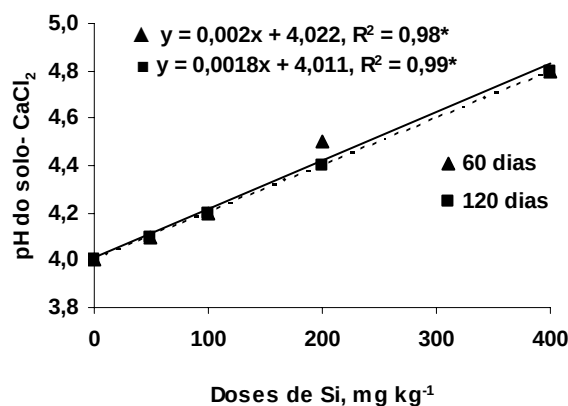


FIGURA 9 – Valores de pH em CaCl_2 de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, após 60 e 120 dias de incubação.

Praticamente não houve diferença nos valores de pH do solo, quando analisado aos 60 e 120 dias de incubação, o que significa que a maior parte da reação ocorre logo após a incorporação do silicato ao solo (FIGURAS 7 e 8).

O comportamento das doses crescentes de Wollastonita foi o mesmo nos dois solos. Aumentando-se as doses, tem-se aumento do pH, porém no Neossolo Quartzarênico ocorre uma maior elevação do pH em relação ao Latossolo, o que pode ser visto pela maior inclinação da reta (FIGURAS 9 e 10). Isso ocorre devido ao menor poder tampão dos solos arenosos, em relação aos argilosos (QUEIROZ, 2003), ou seja, os solos arenosos oferecem uma resistência menor à mudança de pH, em relação aos solos argilosos.

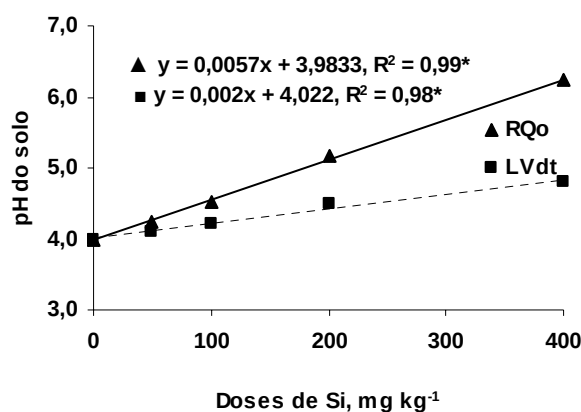


FIGURA 10 – Valores de pH em CaCl₂ dos solos (Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho), em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

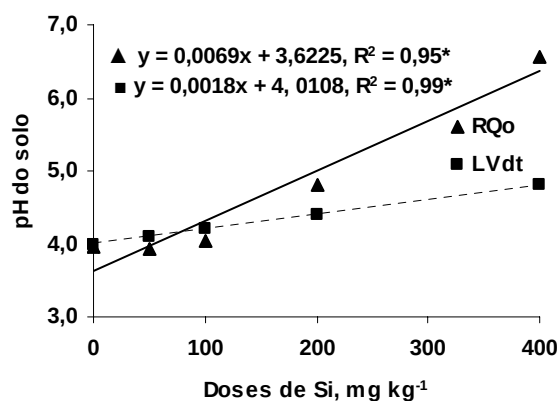


FIGURA 11 – Valores de pH em CaCl₂ dos solos (Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho), em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita, aos 120 dias de incubação.

As melhores fontes para liberação de silício no Nessolo Quartzarênico, tanto aos 60, quanto aos 120 dias de incubação e para os dois extratores (cloreto de cálcio e ácido acético), foram siligran AWM e o padrão Wollastonita, sendo superiores às demais fontes e à testemunha, sem Si (TABELA 9). No Latossolo, as fontes que mais liberaram Si para o solo foram siligran AWM, siligran e Wollastonita (TABELA 10).

A maior liberação de Si pelas fontes citadas, nos dois solos estudados, mostra a boa solubilidade dos produtos, o que provavelmente irá se refletir na absorção deste elemento pelas plantas.

TABELA 9 – Silício disponível em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ e cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹, após 60 e 120 dias de reação no solo de diferentes fontes de silício (RQo).

Fontes	Doses de Si	Dias de incubação			
		60		120	
		Si CaCl ₂	Si Ac. Acético	Si CaCl ₂	Si Ac. Acético
-----mg kg ⁻¹ -----					
Testemunha	0	0,8 b	1,7 d	1,2 b	0,7 d
Wollastonita	200	4,9 a	16,3 b	3,3 a	7,7 b
Sílica pó	200	0,9 b	1,9 d	0,8 b	0,9 d
Pó de Ciclone	200	0,8 b	3,9 c	1,1 b	5,7 c
Mica Marron	200	0,6 b	1,0 d	0,8 b	1,0 d
Siligran AWM	200	4,7 a	19,8 a	3,7 a	20,6 a
Mica Marron Fundida	200	0,9 b	1,0 d	0,9 b	1,0 d
Sílica W. Farelada	200	0,5 b	0,5 d	0,9 b	1,1 d
Quartzo Branco Pó	200	0,9 b	0,5 d	1,0 b	1,1 d
C.V. %		11,9	10,9	11,9	10,9
D.M.S. %		0,51	1,41	0,51	1,41

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 10 -Silício disponível em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ e cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹, após 60 e 120 dias de reatividade de diferentes fontes de silício (LVdt).

Fontes	Doses de Si	Dias de incubação			
		60		120	
		Si CaCl ₂	Si Ac. Acético	Si CaCl ₂	Si Ac. Acético
Testemunha	0	3,1 d	6,5 d	4,2 c	9,4 d
Wollastonita	200	6,8 b	15,3 b	8,9 a	23,4 b
Silica pó	200	3,5 cd	6,5 d	4,5 c	10,1 d
Pó de Ciclone	200	7,5 a	25,5 a	8,5 a	28,0 a
Mica Marron	200	3,1 d	6,5 d	4,4 c	9,8 d
Siligran AWM	200	3,9 c	12,6 c	5,3 b	14,6 c
Mica Marron Fundida	200	3,1 d	6,3 d	4,7 c	10,1 d
Silica W. Farelada	200	3,1 d	6,7 d	4,4 c	9,9 d
Quartzo Branco Pó	200	3,3 cd	6,7 d	4,6 c	11,4 d
C.V. %		4,3	7,7	4,3	7,7
D.M.S. %		0,56	2,52	0,56	2,52

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

O maior aumento de pH no Neossolo Quartzarênico foi obtido pela aplicação de pó de ciclone, seguida de siligran AWM e Wollastonita, apesar de esses não diferirem da testemunha, aos 60 dias de incubação (TABELA 11). Aos 120 dias de incubação, as melhores fontes para a correção do pH, no Neossolo Quartzarênico, foram pó de ciclone e siligran AWM (TABELA 12).

No Latossolo, observa-se que as melhores fontes para a correção do pH foram siligran AWM e Siligran, em ambos períodos de incubação (TABELAS 13 e 14), com os valores aumentando de 4,0 na testemunha, para 5,1, aos 60 dias de incubação, para as duas fontes (TABELA 13), indicando haver uma boa reação das fontes com o solo,

Os aumentos de pH nos dois solos indicam a boa reatividade desses produtos. Isso sugere que, além da elevada reatividade dos materiais, quanto maior a dose da fonte aplicada ao solo, maior é o incremento no valor de pH. Faria (2000); Cardoso (2003) e Queiroz (2003) também obtiveram resultados semelhantes, quanto ao aumento de pH, em decorrência de doses crescentes de silicato de cálcio aplicadas ao solo. O aumento do pH é um forte indicativo da solubilidade do Si, isto é, quanto maior a diferença entre o pH da testemunha e o pH da fonte, maior a solubilidade do Si.

Os teores de Ca e Mg trocáveis também tiveram os valores aumentados nos solos com utilização das fontes, em virtude da maior concentração de MgO e CaO nesses materiais. No Neossolo Quartzarênico, as melhores fontes para o fornecimento

de Ca foram, Wollastonita (42,4% de CaO) e siligran AWM (29,7% de CaO) (TABELAS 11 e 12), e as fontes que melhor disponibilizaram Mg foram pó de ciclone (4,3% de MgO) e siligran AWM (10,0% de MgO) (TABELAS 11 e 12). A maior concentração de Mg nos silicatos implica na sua utilização em solos com baixos teores de Mg ($0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), podendo, assim, agir semelhantemente ao calcário dolomítico.

TABELA 11 - Valores de pH e teores de Ca e Mg trocáveis, após 60 dias de reação no solo de diferentes fontes de silício (RQo).

Fontes	Doses de Si	pH CaCl ₂	Ca -KCl 1 mol L ⁻¹ -	Mg
	mg kg ⁻¹	--	----cmol _c dm ⁻³ ---	
Testemunha	0	4,0 ab	0,1 d	n.d.
Wollastonita	200	5,2 ab	1,3 a	n.d.
Sílica pó	200	3,9 b	0,1 d	n.d.
Pó de Ciclone	200	5,5 a	1,0 b	0,4
Mica Marron	200	4,7 ab	0,1 d	n.d.
Siligran AWM	200	5,0 ab	1,3 a	0,16
Mica Marron Fundida	200	4,5 ab	0,1 d	n.d.
Sílica W. Farelada	200	3,9 b	0,1 d	n.d.
Quartzo Branco Pó	200	3,9 b	0,8 c	n.d.
C.V.%		12,5	8,9	-
D.M.S.%		1,55	0,12	-

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. *n.d= não detectado

TABELA 12 - Valores de pH e teores de Ca e Mg trocáveis, após 120 dias de reação no solo de diferentes fontes de silício (RQo).

Fontes	Doses de Si	pH CaCl ₂	Ca -KCl 1 mol L ⁻¹ -	Mg
	mg kg ⁻¹	--	----cmol _c dm ⁻³ ---	
Testemunha	0	4,0 b	0,1 c	0,08 c
Wollastonita	200	4,8 b	1,3 a	0,08 c
Sílica pó	200	3,9 b	0,1 c	0,08c
Pó de Ciclone	200	6,9 a	1,0 b	1,0 a
Mica Marron	200	4,0 b	0,1 c	0,1 c
Siligran AWM	200	6,4 a	1,3 a	0,6 b
Mica Marron Fundida	200	4,0 b	0,1 c	0,07 c
Sílica W. Farelada	200	4,0 b	0,1 c	0,07 c
Quartzo Branco Pó	200	4,0 b	0,1 c	0,05 c
C.V.%		12,5	8,9	6,5
D.M.S.%		1,55	0,12	0,04

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

No Latossolo Vermelho, a maior disponibilidade de Ca e Mg foi obtida por siligran AWM (29,7% de CaO e 10,0% de MgO) e Siligran (23,0% de CaO e 18% de MgO) (TABELAS 13 e 14). Fontes que forneçam Si, Ca, Mg e corrigem o pH são desejáveis, uma vez que se tem um produto com características de corretivo de acidez e fertilizador.

TABELA 13 - Valores pH e teores de Ca e Mg trocáveis, após 60 dias de reação no solo de diferentes fontes de silício (LVdt).

Fontes	Doses de Si	pH CaCl ₂	Ca -KCl 1 mol L ⁻¹ -	Mg
	mg kg ⁻¹	--	----cmol _c dm ⁻³ ---	
Testemunha	0	4,0 d	0,3 c	0,3 c
Wollastonita	200	4,5 b	1,2 b	0,3 c
Sílica pó	200	4,0d	0,2 c	0,3 c
Pó de Ciclone	200	5,1 a	1,7 a	1,05 b
Mica Marron	200	4,1 c	0,3 c	0,4 c
Siligran AWM	200	5,1 a	1,4 b	1,2 a
Mica Marron Fundida	200	4,0 d	0,2 c	0,3 c
Sílica W. Farelada	200	4,0 d	0,2 c	0,3 b
Quartzo Branco Pó	200	4,0 d	0,3 c	0,3 b
C.V.%		0,8	12,4	10,1
D.M.S.%		0,09	0,20	0,14

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 14 - Valores de pH e teores de Ca e Mg trocáveis, após 120 dias de reação no solo de diferentes fontes de silício (Latossolo Vermelho Distrófico típico).

Fontes	Doses de Si	pH CaCl ₂	Ca -KCl 1 mol L ⁻¹ -	Mg
	mg kg ⁻¹	--	----cmol _c dm ⁻³ ---	
Testemunha	0	4,0 d	0,1 c	0,1 b
Wollastonita	200	4,4 c	1,3 b	0,08 b
Sílica pó	200	4,0 d	0,1 c	0,06 b
Pó de Ciclone	200	4,9 a	1,8 a	0,9 a
Mica Marron	200	4,0 d	0,2 c	0,1 b
Siligran AWM	200	4,8 b	1,4 b	1,0 a
Mica Marron Fundida	200	4,0 d	0,1 c	0,07 b
Sílica W. Farelada	200	4,0 d	0,1 c	0,06 b
Quartzo Branco Pó	200	4,0 d	0,2 c	0,09 b
C.V.%		0,8	12,4	7,4
D.M.S.%		0,09	0,20	0,06

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3.6 CONCLUSÕES

- Siligran e Wollastonita foram as fontes mais eficientes em disponibilizar silício para o Neossolo Quartzarênico, tanto aos 60, quanto aos 120 de incubação;
- As melhores fontes para o fornecimento de cálcio no Neossolo Quartzarênico foram Wollastonita e siligran AWM e para o fornecimento de magnésio foram pó-de-ciclone e siligran AWM;
- As melhores fontes para a correção de pH, no Neossolo Quartzarênico, foram pó-de-ciclone e siligran AWM;
- Siligran e siligran AWM, juntamente com a Wollastonita, foram as fontes mais eficientes em disponibilizar silício para o Latossolo Vermelho, tanto aos 60, quanto aos 120 dias de incubação;
- No Latossolo Vermelho, as fontes que mais disponibilizaram cálcio e magnésio e melhor corrigiram o pH foram siligran AWM e siligran.

CAPÍTULO 2

RESUMO

Absorção e acúmulo de silício na cultura do arroz irrigado, em função da aplicação de diferentes fontes.

O cultivo de arroz enfrenta vários problemas que podem ser causas para baixa produtividade, destacando-se a baixa fertilidade do solo e a alta suscetibilidade a algumas doenças. A adubação com silício pode ser uma alternativa no sentido de amenizar principalmente o impacto das doenças sobre a produtividade. 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 6 tratamentos e 4 repetições. As fontes de Si utilizadas foram: siligran e siligran AWM, na forma granulada e pó, na dose de 200 mg kg⁻¹ de Si. A curva de resposta foi estabelecida pela aplicação de uma fonte padrão (Wollastonita), nas doses de 0, 50, 100, 200, 400 mg kg⁻¹ de Si. Para equilibrar os valores de pH, Ca e Mg, todos os tratamentos foram balanceados com CaCO₃ e MgCO₃. Após 180 dias da semeadura da cultivar Rio Formoso, avaliou-se a produção de matéria seca da parte aérea, massa de panículas, produção de grãos, Si acumulado na planta e teores de Si no solo. Os teores de silício 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 siligran e siligran AWM, ambas foram eficientes no fornecimento de Si para as plantas, quando se considerou o teor foliar de Si e o Si acumulado na parte aérea do arroz. O maior Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.), considerando-se Si na parte aérea e Si acumulado, foi obtido pelo siligran granulado.

Palavras-chave: arroz, fontes de silício, adubação.

ABSTRACT

Accumulation and absorption of silicon in flooded rice in function of different silicon sources.

The rice crop faces some problems that can be caused by the low productivity, low fertility of the soil and high susceptibility for some diseases. The fertilization with silicon can be an alternative in the direction to mainly brighten up the impact of the diseases on the productivity. To identify the efficient silicon sources to supply Si for the rice culture, an experiment was developed in pots, using a sandy soil, with 6 treatments and 4 replications. The silicon sources used were: siligran and siligran AWM, granulated and powdered, at rate: 200 mg kg⁻¹ of Si. The reply curve Si was established by the application of a standard silicon source (Wollastonita) at rates: 0, 50, 100, 200, 400 mg kg⁻¹ of Si. Sandy soil was incubated previously with CaCO₃ and

MgCO₃ to balance the values of pH, Ca and Mg. Rice cultivar Rio Formoso was seeded and 180 after sowing, the parameters analyzed were: aerial part of the plant, to determine dry matter, mass of panicles, Si contents in the plants and grain yield. A soil was sampled and analyzed to evaluate Si. Silicon available in soil increased with the different rates of Wollastonita. The results with silicon fertilization using Wollastonita, showed that absorption and accumulation of Si was affected. Siligran and siligran AWM affected the amount of Si in rice, specially when was considered the accumulation in the aerial parts of the plants. The biggest Index of Efficient Agronomic (I.E.A.), considering Si in the aerial part and Si accumulated, was gotten by siligran granulated.

Key words: silicon, rice, sources, fertilization.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz ocupa papel de grande importância no cenário agrícola do Brasil e no mundo. O produto faz parte da dieta do brasileiro e é alimento básico de mais da metade da população mundial.

No Brasil, a safra de arroz em 2003/2004 obteve uma produção de 12.806.000 toneladas, cultivadas em 2 sistemas, o de várzea e o de terras altas. O sistema de produção de terras altas vem decrescendo desde a década de 80, devido à baixa produtividade que se consegue com o mesmo (CONAB 2004).

Devido a inúmeros benefícios que o silício tem proporcionado às culturas, principalmente as gramíneas, este elemento vem despertando grande interesse entre os técnicos e agricultores. Benefícios esses que estão relacionados a aumentos de produtividade e resistência a estresses bióticos e abióticos.

A importância do silício para a cultura do arroz está relacionada, principalmente, ao aumento da produtividade, à redução do estresse hídrico, e ao aumento da resistência ao ataque de pragas, fungos e doenças.

Segundo vários estudos, o silício após ser absorvido pelas plantas de arroz, deposita-se na epiderme das folhas, se polimeriza, tornando-se imóvel, formando uma camada de proteção contra fungos bactérias e insetos. Além disso, influencia a estrutura das plantas deixando-as mais eretas, evitando o acamamento, fazendo com que haja um melhor aproveitamento fotossintético, conseqüentemente aumentando a produtividade.

No Japão, os produtos mais utilizados como fontes de silício para a cultura do arroz são os resíduos das usinas do aço; nos Estados Unidos, usa-se os resíduos da

fabricação de fósforo elementar. No Brasil, é necessário identificar os produtos com maior potencial visando aumentar a qualidade e produtividade da cultura do arroz.

O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de identificar as fontes que melhor disponibilizam silício no solo e proporcionem melhor crescimento e desenvolvimento da cultura do arroz.

4.2 HIPÓTESES

- O incremento heterogêneo de silício no solo, gerado pela aplicação de adubos silicatados, irá gerar diferentes respostas quanto ao crescimento e desenvolvimento da cultura do arroz.
- O efeito fertilizante dos produtos silicatados irá contribuir para a melhoria da produtividade do arroz.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi instalado um experimento em vasos e em casa-de-vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. Para avaliar a reatividade de fontes de silício, utilizaram-se amostras de: siligran e siligran AWM, aplicadas na forma de pó e granulada. Para obtenção dos materiais em pó, os produtos granulados foram moídos e peneirados em peneira de 50 mesh, garantindo assim uma granulometria homogênea para as fontes. Os materiais granulados foram passados em peneira de 10 mesh e retidos na peneira de 20 mesh, para também garantir granulometria homogênea dos produtos. Foram utilizados tratamentos adicionais com Wollastonita, fonte padrão para experimentos com silício.

As doses dos materiais foram definidas em função da capacidade de fornecimento de silício pelas fontes, sendo caracterizadas quanto aos teores de silício total e solúvel (KORNDÖRFER et al., 2004b), CaO e MgO (EMBRAPA,1999), conforme descrito na TABELA 15.

TABELA 15 - Atributos químicos das fontes de Si utilizadas no experimento com arroz.

Fontes	Si Total	Si Solúvel	CaO	MgO
	-----%-----			
Wollastonita (padrão)	23,0	4,6	42,4	0,0
Silicon (granulado e pó)	11,3	1,0	29,7	10,0
Siligran (granulado e pó)	12,0	1,0	27,8	11,3

Procedeu-se a adição de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e Carbonato de Magnésio (MgCO_3) para balancear as diferentes doses de silicato. A adição de CaCO_3 e MgCO_3 tem a finalidade de equilibrar os teores de cálcio e magnésio, metodologia adotada com o intuito de isolar o efeito do silício liberado pelas fontes sobre as plantas, já que os materiais utilizados são fontes de Ca e Mg.

Incorporou-se, no solo dos vasos, doses crescentes de Wollastonita (50, 100, 200 e 400 mg kg^{-1}) e 200 mg kg^{-1} de Siligran AWM e Siligran (TABELA 16), juntamente com as doses de CaCO_3 e MgCO_3 , em delineamento em blocos casualizados com 4 repetições.

TABELA 16 – Tratamentos utilizados no experimento com arroz e respectivas quantidades de Si, Ca e Mg adicionados por vaso de 5 kg.

Fontes	Doses de Si	Dose do produto	Dose de Ca	Dose de Mg
	- mg kg^{-1} -	-----g 5 kg solo ⁻¹ -----		
Testemunha	0	0,0000	1,0539	0,2840
Wollastonita	50	0,5435	0,8892	0,2840
Wollastonita	100	1,0870	0,7246	0,2840
Wollastonita	200	2,1739	0,3952	0,2840
Wollastonita	400	4,3478	0,0000	0,2840
Siligran AWM (granulado e pó)	200	4,4248	0,1148	0,0000
Siligran (granulado e pó)	200	4,1667	0,2262	0,0171

Utilizou-se um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo típico), coletado em Santa Vitória-MG, cujas características químicas e físicas se encontram descritas nas TABELAS 1 e 2 do item 1.3. O solo foi seco e peneirado para a incorporação dos tratamentos. A utilização do referido solo se deve ao fato de o mesmo apresentar baixos teores de Si ($0,6 \text{ mg dm}^{-3}$), o que pode contribuir para obtenção de melhores respostas, em relação à aplicação das fontes de Si.

As fontes foram pesadas e misturadas ao solo através de betoneira (FIGURA 12), juntamente com o CaCO_3 , o MgCO_3 e a adubação básica, que constou da aplicação de nitrogênio (N) e fósforo (P_2O_5), na dosagem de 200 mg kg^{-1} , 300 mg kg^{-1} de Cloreto de Potássio (KCl) e $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ 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 metade após 20 dias. O solo foi colocado em vasos plásticos, de 5 kg, onde permaneceu durante 15 dias incubado, até a semeadura do arroz. Durante esse período, manteve-se a umidade do solo próxima a 80 % da capacidade de campo (FIGURA 12).



FIGURA 12 – Betoneira utilizada para mistura dos materiais e solo incubado por 15 dias.

Semeou-se o arroz cultivar Rio Formoso (adaptada às regiões de Goiás e Tocantins) que apresenta ciclo médio; período da emergência à floração de 95 dias; grão longo e fino; renda de benefício de 65% e com 55% de grãos inteiros; resistente ao acamamento; moderadamente resistente a brusone na folha e na panícula e moderadamente suscetível à mancha dos grãos (EMBRAPA, 2004). Após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se 5 plantas por vaso. Os vasos foram inundados com água destilada, dia 03 de maio de 2004, deixando-se uma lâmina de mais ou menos 2,0 cm. A água dos vasos foi mantida no nível estabelecido, durante toda condução do experimento.

No decorrer do experimento verificou-se, certa deficiência de nitrogênio nas plantas de arroz. Para suprir tal deficiência, foi realizada, nos dias 29 de junho e 13 de julho de 2004, adubação complementar com uréia, na dose de 50 kg ha^{-1} .

As plantas de arroz foram colhidas no dia 27 de outubro de 2004, separando-se as panículas do restante da planta. Após a coleta, as plantas foram lavadas em água

destilada, para evitar contaminação com partículas de solo, e secas em estufa, à 65° C, até peso constante para obtenção da matéria seca. As panículas foram coletadas, pesadas e, posteriormente, os grãos foram separados e pesados. Os grãos, por sua vez, foram separados da casca, para ser determinado o teor de silício.

A FIGURA 13 ilustra as diferentes fases do arroz até o dia da coleta.



FIGURA 13 – Diferentes fases do arroz até o dia da coleta.

O Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.) das fontes foi calculado levando-se em consideração os teores de Si na parte aérea (talo + folha) e o Si acumulado no arroz, utilizando a seguinte fórmula:

$$(I.E.A. \%) = \frac{\text{teor de Si da fonte} - \text{teor de Si da testemunha}}{\text{teor de Si do padrão} - \text{teor de Si da testemunha}} \times 100$$

As variáveis analisadas foram submetidas ao teste de Tukey, com comparação entre as médias ao nível de 5% de probabilidade. Estabeleceram-se relações entre doses aplicadas de silicatos e o teor de nutrientes (Si, Ca, Mg) e pH do solo e teores de Si na parte aérea (folha + talo), casca e Si acumulado.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Silício no solo

De forma geral, observou-se que a extração de Si pelo ácido acético apresentou valores superiores, em relação ao extrator cloreto de cálcio (FIGURA 11), o que pode ser comprovado quando se compara o Si extraído na dosagem de 400 mg kg⁻¹ de Wollastonita, onde foram encontrados valores de 0,9 mg kg⁻¹ de Si em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e 2,5 mg kg⁻¹ em ácido acético 0,05 mol L⁻¹, concordando com resultados obtidos por Pereira et al. (2004). Braga (2004), trabalhando com doses crescentes de sílica gel para as culturas do arroz e sorgo, também obteve resultados que comprovam que o extrator ácido acético tem a capacidade de extrair uma maior quantidade de Si do solo.

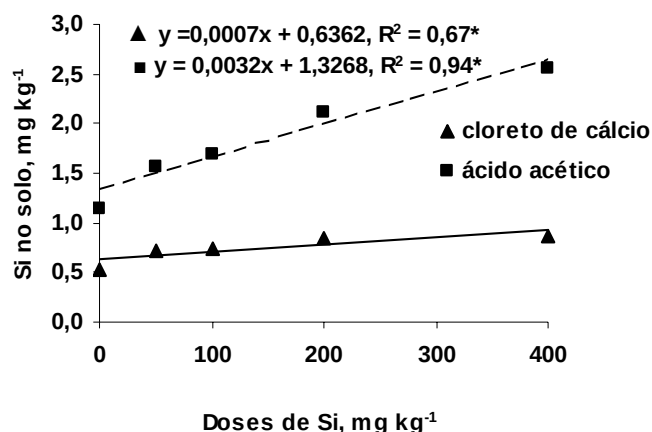


FIGURA 14-Teores de Si no solo (cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ e ácido acético 0,5 mol L⁻¹), em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita (amostras coletadas após colheita do arroz).

Comparando-se os tratamentos contendo siligran e siligran AWM, na forma de pó e granulada com a Wollastonita, na dose de 200 mg kg⁻¹, observa-se que tanto no extrator cloreto de cálcio, quanto no ácido acético, não há diferença significativa entre os teores de silício extraídos para as fontes (TABELA 17). O ácido acético extraiu maior quantidade de Si do solo em todas as fontes estudadas. Provavelmente, isso ocorreu porque o mesmo é capaz de extrair formas de Si não disponíveis para as plantas, tais como formas polimerizadas (ácido polisilícico) ou mesmo Si presente na fase sólida do solo (argilominerais), superestimando os valores de silício em solução (Queiroz, 2003 e Braga, 2004).

TABELA 17 - Si disponível, existente nas amostras de solo coletadas após colheita do arroz, submetido a diferentes fontes de silício.

Fontes	Dose de Si	Si Ca Cl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	Si Ac. Acético 0,5 mol L ⁻¹
	-----mg kg ⁻¹ -----	-----mg kg ⁻¹ -----	
Testemunha	0	0,5 b	1,1 b
Wollastonita	200	0,9 a	2,1 a
Siligran Gran.	200	0,6 ab	2,0 a
Siligran Pó	200	0,7 ab	2,3 a
Siligran AWM Gran.	200	0,6 ab	1,9 ab
Siligran AWM Pó	200	0,6 ab	1,8 ab
C.V.%		18,42	19,4
D.M.S.%		0,27	0,84

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Ocorreu pouca diferença entre os valores de pH, Ca e Mg do solo entre as fontes testadas (TABELA 18).

TABELA 18– Valores de pH em CaCl_2 , Ca e Mg trocáveis, existentes nas amostras de solo coletadas após colheita do arroz, submetido a diferentes fontes de silício.

Fontes	Dose de Si	pH CaCl_2	Ca --KCl 1 mol L ⁻¹ --	Mg L ⁻¹ --
	---mg kg ⁻¹ ---		----cmol _c dm ⁻³ ---	
Testemunha	0	4,1	0,2	0,05
Wollastonita	50	4,1	0,2	0,04
Wollastonita	100	4,2	0,3	0,05
Wollastonita	200	4,2	0,3	0,06
Wollastonita	400	4,4	0,5	0,05
Siligran Gran.	200	4,4	0,4	0,14
Siligran Pó	200	4,5	0,6	0,11
Siligran AWM Gran.	200	4,4	0,3	0,11
Siligran AWM Pó	200	4,3	0,3	0,09

Tal resultado já era esperado, já que houve o balanceamento das bases antes da semeadura. Esse efeito é muito importante, assegurando que as diferenças entre os tratamentos se devem ao efeito isolado do silício, não havendo interferência do pH, Ca e Mg na reatividade e comparação dos produtos testados.

4.4.2 Silício na planta

De modo geral, observou-se que a aplicação de Wollastonita aumentou a disponibilidade de Si no solo (FIGURA 14), o qual foi absorvido pelo sistema radicular do arroz, e se acumulou no tecido foliar (FIGURA 15). A medida em que se aumentou a dose de Wollastonita, de 50 para 400 mg kg⁻¹ de Si, aumentaram-se os teores de Si na parte aérea (talo + folha) e casca do arroz (FIGURAS 15 e 16), concordando com dados obtidos por Pereira et al. (2004) e Braga et al. (2004).

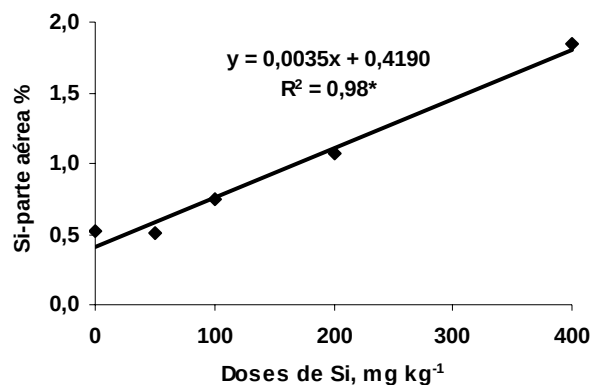


FIGURA 15 - Teores de Si na parte aérea (talo + folha) do arroz, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita.

Faria (2000), estudando a tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico em Neossolo Quartzarênico, obteve resposta linear da aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio sobre os teores de silício na parte aérea das plantas, com teores do elemento variando de 9,0 a 21,0 g kg⁻¹ nesse solo, respectivamente, para doses de 0 a 600 kg ha⁻¹.

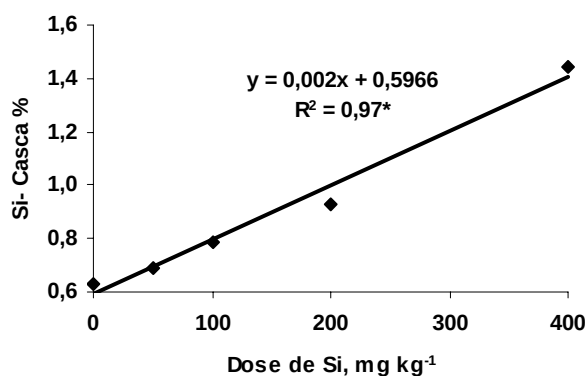


FIGURA 16 - Teores de Si casca do arroz, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita.

A quantidade de Si acumulado passou de 0,2 g vaso⁻¹ da testemunha, sem Si, para 0,7 g vaso⁻¹ na maior dose de Wollastonita, 400 mg kg⁻¹ (FIGURA 17), concordando com resultados obtidos por Chagas (2004).

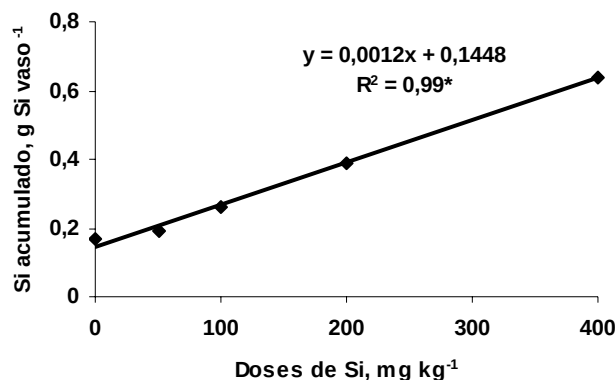


FIGURA 17 - Teor de Si acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses crescentes de Wollastonita.

Ambos os extratores de Si (ácido acético e cloreto de cálcio) foram capazes de avaliar o Si disponível, isto é, quanto maior o teor de Si no solo, maior foi o Si acumulado nas plantas de arroz. Apesar disso, percebe-se que o extrator ácido acético ($R^2 = 0,87$) foi mais eficiente que o cloreto de cálcio ($R^2 = 0,76$) para analisar o Si disponível (FIGURAS 18 e 19). Esses resultados concordam com Korndörfer et al. (1999) que, trabalhando com a cultura do arroz de sequeiro e quatro solos da região do Triângulo Mineiro, obtiveram uma maior correlação entre o Si extraído do solo, pelo ácido acético, e o Si acumulado nas plantas. Os autores afirmam ainda que esse extrator é de fácil preparo e com um custo de reagente bem baixo, facilitando seu uso em análises de rotina.

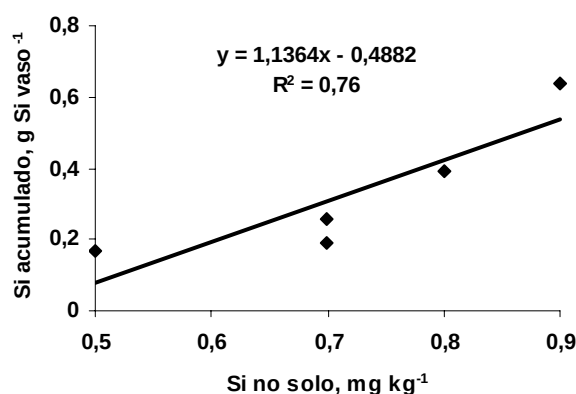


FIGURA 18 - Relação entre Si extraído (cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹) e Si acumulado na parte aérea do arroz.

A maior correlação, em parte, se deve a capacidade do extrator (ácido acético) em dissolver o Si da fonte, isto é, da Wollastonita. Neste caso, a acidez do extrator pode contribuir na dissolução do silicato que ainda não reagiu no solo e assim determinar o Si que não é disponível. A maior capacidade de extração do ácido acético pode também ajudar a explicar a maior correlação, na medida que os erros analíticos são os mesmos quanto maior os valores de Si extraídos.

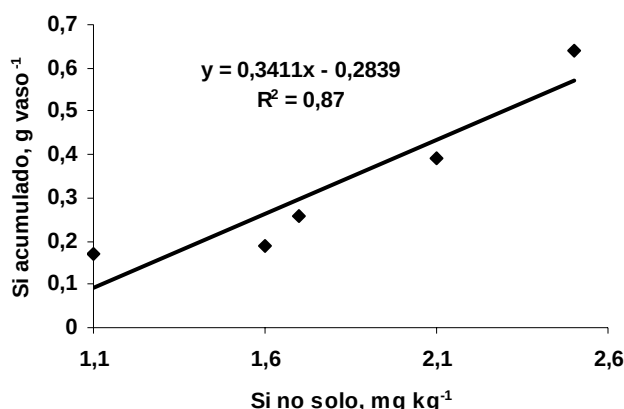


FIGURA 19 - Relação entre Si extraído (ácido acético 0,5mol L⁻¹) e Si acumulado na parte aérea do arroz.

Na parte aérea, não há diferença significativa entre a Wollastonita e as fontes siligran (granulada e pó) e siligran AWM pó, sendo todas superiores à testemunha (TABELA 19). Considerando os teores de Si na casca do arroz, a Wollastonita não apresentou diferença significativa do siligran pó, sendo superior à testemunha e as demais fontes (TABELA 19). Não houve diferenças significativas entre as fontes quanto aos teores de Si acumulados na parte aérea do arroz, sendo todas superiores à testemunha (TABELA 19). Silva (2002), estudando fontes de silício obteve resultados superiores da Wollastonita, em relação à fonte siligran na forma de pó e granulada, isso devido à maior solubilidade da fonte padrão.

TABELA 19 - Teores de Si na parte aérea (talo + folhas), casca e Si acumulado nas plantas de arroz, submetidas à aplicação de diferentes fontes de Si.

Fontes	Dose de Si	Si parte aérea	Si casca	Si acumulado
	mg kg ⁻¹	-----%-----		---g vaso ⁻¹ ---
Testemunha	0	0,52 c	0,64 bc	0,17 b
Wollastonita	200	1,08 a	0,93 a	0,39 a
Siligran Gran	200	1,00 ab	0,61 bc	0,40 a
Siligran Pó	200	0,98 ab	0,77 ab	0,32 ab
Siligran AWM Gran	200	0,78 bc	0,64 bc	0,24 ab
Siligran AWM Pó	200	0,96 ab	0,55 c	0,32 ab
C.V %		13,43	12,22	23,84
D.M.S %		0,27	0,19	0,17

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As fontes de Si não diferiram com relação à massa de panículas, produção de matéria seca e grãos, isto é, foram todas iguais (TABELA 20).

TABELA 20- Massa das panículas, Produção de grãos e de Matéria Seca das plantas de arroz, em função da utilização de diferentes fontes.

Fontes	Dose de Si	Massa de Panículas	Produção de Grãos	Matéria seca
	mg kg ⁻¹		g vaso ⁻¹	
Testemunha	0	22,8 a	19,9 ab	32,2 ab
Wollastonita	200	22,8 a	21,3 ab	36,2 a
Siligran Gran	200	21,8 a	18,2 ab	31,4 b
Siligran Pó	200	20,5 a	17,8 ab	32,6 ab
Siligran AWM Gran	200	19,5 a	17,2 b	31,1 b
Siligran AWM Pó	200	25,0 a	22,1 a	33,1 ab
C.V. %		11,99	10,88	5,44
D.M.S. %		6,08	4,87	4,10

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Considerando apenas a produção de grãos, a única diferença observada foi entre o produto siligran AWM, aplicado na forma de pó e granulado. O produto em pó foi mais eficiente que o produto granulado, sendo que os valores aumentaram de 19,9 g vaso⁻¹, na testemunha, para 22,1 g vaso⁻¹, quando se aplicou a fonte (TABELA 20). Faria (2000) obteve resultados positivos na produção de grãos aplicando silicato de cálcio ao solo.

As doses de Si não afetaram a massa de panículas, produção de matéria seca e a produção de grãos, nem mesmo quando foi usada a fonte padrão Wollastonita (TABELA 21).

TABELA 21 - Massa das panículas, Produção de grãos e de Matéria Seca das plantas de arroz, em função da utilização de doses de Wollastonita.

Fontes	Dose de Si mg kg ⁻¹	Massa de Panículas	Produção de Grãos -----g vaso ⁻¹ -----	Matéria seca
Testemunha	0	22,76	20,63	32,23
Wollastonita	50	20,72	19,96	37,01
Wollastonita	100	26,10	23,54	34,93
Wollastonita	200	22,83	21,62	36,22
Wollastonita	400	22,01	20,68	34,65

A falta de resposta para a aplicação de Si sobre a produção a massa de panículas, produção de matéria seca e produção de grãos, se deve ao fato do experimento ter sido conduzido em casa-de-vegetação, onde não existe nenhum tipo de estresse para a planta, isto é, não há falta de água, não há ataque de pragas e nem tampouco incidência de doenças.

Outro fato importante a se considerar é que o arroz foi semeado em uma época atípica para seu cultivo, abril, e seu desenvolvimento ocorreu em um período onde as temperaturas são baixas, maio a junho, o que prejudica o desenvolvimento da cultura e prolonga o ciclo. Esse fato, também, pode ter contribuído para a falta de resposta do arroz em relação às variáveis, massa de panículas, produção de grãos e matéria seca.

O melhor Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.), para o Si na parte aérea (talo + folha) e Si acumulado, foi obtido pela fonte siligran na forma granulada (TABELA 22). Esse índice mostra o quanto de Si foi aumentado e acumulado na parte aérea do arroz pela aplicação do siligran granulada, em relação ao adubo padrão (Wollastonita).

TABELA 22 - Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.), em função da aplicação das diferentes fontes de Si.

Fontes	Dose de Si mg kg ⁻¹	Si parte aérea -----%-----	Si Acumulado
Testemunha	0	0	0
Wollastonita	200	100	100
Siligran Gran	200	80	105
Siligran Pó	200	77	68
Siligran AWM Gran	200	43	32
Siligran AWM Pó	200	73	68

4.5 CONCLUSÕES

- Os teores de silício 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 siligran e siligran AWM, ambas foram eficientes no fornecimento de Si para as plantas, quando se considerou o teor foliar de Si e o Si acumulado na parte aérea do arroz.
- O maior Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.), considerando-se Si na parte aérea e Si acumulado, foi obtido pelo siligran granulado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos:** características e interpretações técnicas. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim técnico nº 6).

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.** Piracicaba: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.

BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz.** Piracicaba: POTAFOS, 1987. 120p. (Encarte técnico. Informações agrônômicas)

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E; KORNDÖRFER G.H. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informações Agrônômicas**, n.89, Encarte Técnico p. 1-8, 2000

BERNI, F. R.; PRABHU, S. A. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 195-201, fev, 2003.

BITTENCOURT, M.F.; R.M. NOKAGHI; G.H. KORNDÖRFER; LR. VOSS; J.R. JARUSSI; M.S. CAMARGO; H.S. PEREIRA. **Efeito do silicato de cálcio sobre a produção e qualidade da cana-de-açúcar** - Usina Equipav. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto - **Solo:** Alicerce dos sistemas de produção. Ribeirão Preto/SP: UNESP, 2003. CD Rom

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.

BRADY, N.C. **The nature and properties of soil.** 10 ed. New York: Macmillan Publishing Co, 1992. p.179-200.

BRASIL. Decreto nº 2954, de 14 de janeiro de 2004. 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, Brasília, v.4, p.143-151, 1969.

CARDOSO, K. **Aplicação de silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*.** 2003. 48f. Monografia (Graduação em agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Ministério da Agricultura e Abastecimento.** Brasília, 28 dez. 2004. Disponível em: (<http://www.conab.gov.br/>). Acesso em: 28 dez. 2004.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; SILVA, R. H. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1323-1328, nov. 2003.

CHAGAS, R.C.S. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milheto**. 2004.79f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2004.

DEREN, C.W.; DATNOFF, L.F.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown in flooded organic histosols. **Crop Science**, New York, v.34, n.3, p.733-737, May/June 1994.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Arroz e Feijão. Brasília, 28 dez. 2004. Disponível em: (<http://www.cnpaf.embrapa.br/index.htm>). Acesso em: 20 dez. 2004.

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.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FRANCO, C.J.F.; KORNDÖRFER, G. H. **Aplicação de silício (Si) em cana-de-açúcar**: uma alternativa para melhorar características químicas de solos de cerrado. In: *SEMANA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – SECA*, 1995. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1998.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da Lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Vacaria, v.31, n.2, p.305-310, 2002.

GUIMARÃES, C. M.; FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. **Como a planta de arroz se desenvolve**. Piracicaba: POTAFOS, 2002. 12p (Encarte técnico. Informações Agrônomicas, n 99).

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

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004a. 23p.(Boletim técnico, 1).

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

KORNDÖRFER G. H.; ARANTES V.A.; CORRÊA G.F.; SNYDER, G. H. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.623-629, 1999a.

KORNDÖRFER G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23 n.1, p.101-106, 1999b.

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

LOUZADA, P.T.C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. 1987. 52f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Departamento de Solos e Nutrição de Plantas - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

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. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier. 2001. p.17-39

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan**. Japan: Elsevier, 2002. 274p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINS, M.R. **Efeito corretivo de alguns silicatos e carbonatos e disponibilidade de silício no solo**. 2004. 34f Monografia (Graduação em agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; KOCH, C. SEYWERT, F. The influence of silicon on cytological interations between *Sphaerotheca fugilinea* and *Cumumis sativus*. **Physiol. Mol. Plant Pathol.** Vol 39. p. 403-14. 1991b. In: POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; BOTELHO, D.M.S. O silício no controle de doenças de plantas. **RAPP**, Lavras, v.2, p.373-402, 2004a.

MORAES, J.C.; CARVALHO, S.P. Indução de resistência em plantas de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Ao pulgão verde *Schizaphis graminum* (Rond., 1852) (Hemiptera: Aphididae) com aplicação de silício. **Ciência. Agrotécnica**, Lavras. v.26, n.6, p.1185-1189, 2002.

NOLLA, A. Critérios para calagem no sistema plantio direto, 169p. Universidade Federal do rio Grande do Sul. Departamento de solos. 2003.

NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: Simpósio sobre silício na agricultura, 3., 2004. **Palestras**. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004(a). CD-ROM.

NOLLA, A.; KONDÖRFER, G.H.; ARRUDA, D.G. Controle de *Peronospora Manshurica* na soja cultivada sob diferentes níveis de silicato de cálcio e calcário. In: Simpósio sobre silício na agricultura, 3., 2004. **Palestras**. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004(b). CD-ROM.

NOLLA, A.; KONDÖRFER, G.H.; ARRUDA, D.G.; LEMES, E.M.; KAHLAU, J. Eficiência de silicato de cálcio e calcário no controle de *Cercospora Sojina* na cultura da soja. In: Simpósio sobre silício na agricultura, 3., 2004. **Palestras**. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004(c). CD-ROM.

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. The physiological role of silicon in crop plant. In: HOPKINS, J. **The mineral nutrition of the rice plant.**: Baltimore: The John Hopkins Press, 1964. p. 123-146.

OLIVEIRA, R.G. **Avaliação de diferentes corretivos e da ação do gesso através de colunas de lixiviação em material de um Latossolo Vermelho distroférrico.** 2004. 40f. Monografia (Graduação) – Instituto de Ciências Agrárias- Universidade Federal de Uberlândia- Uberlândia, 2004.

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.

PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C., KONDÖRFER, G.H. Comportamento de diferentes fontes de Silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.27, p. 101-108, 2003.

PIAU, W.C.; NOVAIS, R.F.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; OLIVEIRA, A.C. In: **Silicatos de Cálcio e magnésio na agricultura.** 3 ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2002. 23p.(Boletim técnico, 01).

POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; BOTELHO, D.M.S. O silício no controle de doenças de plantas. **RAPP**, Lavras, v.2, p.373-402, 2004a.

POZZA, A.A.A.; ALVES, E.; POZZA, E.A.; CARVALHO, J.G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.T. G.; SANTOS, D.M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, n.2, p. 185-188, mar/abr. 2004b.

QUEIROZ, A.A. **Reação de fontes de silício em quatro solos do cerrado.** 2003. 39f. Monografia (Graduação em agronomia)- Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003

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

RAMOS, L.A. **Corretivos e condicionadores na correção do solo através de colunas de lixiviação**. 2003. 44f. Monografia (Graduação em agronomia), Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia,

RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Review**, Seattle, v.58, p. 179-207, 1983.

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

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, Newark, v.58, p. 151-199, 1997.

SILVA, M.F. **Avaliação de fontes de silício através de testes biológicos e de incubação**. 2002. 42 f. Monografia (Graduação em Agronomia)- Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002

SILVEIRA JR, E.G.; C. PENATTI; G.H. KORNDÖRFER; M.S. de CAMARGO. **Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar** – Usina Catanduva. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto - **Solo**: Alicerce dos sistemas de produção. Ribeirão Preto/SP: UNESP, 2003. CD Rom.

SNYDER, G.H. **Development of a silicon soil test for Histosol-grown rice**. Belle Glade EREC Res. Rep. EV-1991-2. Florida, USA. Univ. Florida, Belle Glade, 1991.

YASSUDA, M. **Comportamento de fosfatos em solos de cerrado**. 1989. 62f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI. 1981. 269 p.

VIDAL, A. **Fontes de silício para a cultura do arroz**. 2003. 34f. Monografia (Graduação em Agronomia)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

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.

VIDHYASEKARAN, P. **Fungal pathogenesis in plant na crops – Molecular biology an host defense mechanisms**. New York: Marcel Dekker, Inc. 553p. In: POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; BOTELHO, D.M.S. O silício no controle de doenças de plantas. **RAPP**, Lavras, v.2, p.373-402, 2004a.

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO 1A - Quadro de análise de variância dos teores de silício extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,2817	0,2817	7,8810	0,00793*
Fontes	8	101,0592	12,6324	353,4472	0,00001*
Época * Fonte	8	5,6733	0,7091	19,8420	0,00001*
Resíduo	36	1,2867	0,0357		
Total	53	108,3009			

Média Geral = 1,5870

Coeficiente de Variação = 11,912 %

ANEXO 2A - Quadro de análise de variância dos teores de silício, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	7,7824	7,7824	28,3190	0,00004*
Fontes	8	2246,1367	280,7671	1021,6670	0,00001*
Época * Fonte	8	111,7359	13,9700	50,82,37	0,00001*
Resíduo	36	9,8932	0,2748		
Total	53	2375,5483			

Média Geral = 4,7944

Coeficiente de Variação = 10,934 %

ANEXO 3A - Quadro de análise de variância dos teores de pH no solo, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,3585	0,3585	1,0773	0,3069
Fontes	8	35,4766	4,4345	13,3259	0,0001*
Época * Fonte	8	6,7648	0,8456	2,5410	0,0264*
Resíduo	36	11,9800	0,3328		
Total	53	54,5800			

Média Geral = 4,600

Coeficiente de Variação = 12,541%

ANEXO 4A - Quadro de análise de variância dos teores de cálcio trocável no solo, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,1350	0,1350	66,2722	0,00001*
Fontes	8	13,6037	1,7004	834,7669	0,00001*
Época * Fonte	8	0,6133	0,0767	37,6361	0,00001*
Resíduo	36	0,0733	0,0020		
Total	53	14,4254			

Média Geral = 0,5092

Coeficiente de Variação = 8,863 %

ANEXO 5A - Quadro de análise de variância dos teores de magnésio trocável no solo, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes aos 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Fonte	8	2,6870	0,3358	1374,042	0,00001*
Resíduo	18	0,0044	0,0002		
Total	26	2,6914			

Média Geral = 0,2400

Coeficiente de Variação = 6,514 %

ANEXO 6A - Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	4,1070	4,1070	62,8643	0,00001*
Doses	4	278,1087	69,5271	1064,2218	0,00001*
Época * Doses	4	8,3713	2,0928	32,0340	0,00001*
Resíduo	20	1,3066	0,0653		
Total	29				

Média Geral = 3,5233

Coeficiente de Variação = 7,255 %

ANEXO 7A – Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	185,7540	185,7540	2843,2558	0,00001
R. Quadr.	1	1,6077	1,6077	24,6090	0,00019
R. Cúbica	1	0,5458	0,5458	8,3539	0,00886
R. Grau 4	1	0,0017	0,0017	0,0265	0,86647
Resíduo	20	1,3067	0,0653		

ANEXO 8A – Regressão polinomial para teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	94,3413	94,3413	1444,0412	0,00001
R. Quadr.	1	4,1356	4,1356	63,3025	0,00001
R. Cúbica	1	0,0109	0,0109	0,1674	0,68898
R. Grau 4	1	0,0827	0,0827	1,2666	0,27329
Resíduo	20	1,3066			

ANEXO 9A - Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	72,3854	72,3854	120,9816	0,00001*
Doses	4	4279,5590	4279,5590	1788,1634	0,00001*
Época * Doses	4	66,8279	66,8279	27,9322	0,00001*
Resíduo	20	11,9663	11,9663		
Total	29	4430,7387			

Média Geral = 10,7733

Coefficiente de Variação = 7,180 %

ANEXO 10A – Regressão polinomial para teores de Si no solo, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	2107,5701	2107,5701	3522,4935	0,00001
R. Quadr.	1	9,8527	9,8527	16,4674	0,00088
R. Cúbica	1	9,5731	9,5731	15,9999	0,00098
R. Grau 4	1	0,3734	0,3734	0,6242	0,55558
Resíduo	20	11,9663			

ANEXO 11A – Regressão polinomial para teores de Si no solo, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	2030,3415	2030,3415	3393,4173	0,00001
R. Quadr.	1	186,0929	186,0929	311,0270	0,00001
R. Cúbica	1	2,3832	2,3832	3,9832	0,05701
R. Grau 4	1	0,1999	0,1999	0,3341	0,57599
Resíduo	20	11,9663			

ANEXO 12A - Quadro de análise de variância dos valores de pH, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,2253	0,2253	16,4887	0,00087*
Doses	4	24,1613	24,1613	411,9870	0,00001*
Época * Doses	4	0,6547	0,6547	11,9758	0,00012*
Resíduo	20	0,2733	0,2733		
Total	29	25,3147			

Média Geral = 4,7467

Coefficiente de Variação = 2,463 %

ANEXO 13A – Regressão polinomial dos valores de pH, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	9,6333	9,6333	704,8958	0,00001
R. Quadr.	1	0,0020	0,0020	0,1465	0,07070
R. Cúbica	1	0,0111	0,0111	0,8100	0,6176
R. Grau 4	1	0,0003	0,0003	0,0194	0,8856
Resíduo	20	0,2733			

ANEXO 14A – Regressão polinomial dos valores de pH, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	14,3521	14,3521	1050,1800	0,00001
R. Quadr.	1	0,7105	0,7105	514,9925	0,00001
R. Cúbica	1	0,1028	0,1028	7,5221	0,01209
R. Grau 4	1	0,0040	0,0040	0,2856	0,60474
Resíduo	20	0,2733			

ANEXO 15A - Quadro de análise de variância dos valores de cálcio trocável, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,0120	0,0120	3,4000	0,05655
Doses	4	15,0413	15,0413	1253,4000	0,00001*
Época * Doses	4	0,03467	0,03467	2,9000	0,04824*
Resíduo	20	0,0600	0,0600		
Total	29	15,1480			

Média Geral = 0,9200

Coefficiente de Variação = 5,954 %

ANEXO 16A - Quadro de análise de variância dos valores de magnésio trocável, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Doses	4	0,0006	0,0002	2,1818	0,1444
Resíduo	10	0,0007	0,00007		
Total	14	0,0014			

Média Geral = 0,0750

Coefficiente de Variação = 11,469 %

ANEXO B

ANEXO 1B - Quadro de análise de variância dos teores de silício extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	25,4890	25,4890	593,2820	0,00001*
Fontes	8	151,2303	18,9038	440,0032	0,00001*
Época * Fontes	8	1,4526	0,1816	4,2263	0,001468
Resíduo	36	1,5467	0,0430		
Total	53	179,7188			

Média Geral = 4,8241

Coefficiente de Variação = 4,297%

ANEXO 2B - Quadro de análise de variância dos teores de silício extraídos em ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	193,4231	193,4231	220,8229	0,00001*
Fontes	8	2132,0536	266,5067	304,2594	0,00001*
Época * Fontes	8	39,5035	4,938	5,6374	0,00024*
Resíduo	36	31,5330	0,8760		
Total	53	2396,5133			

Média Gera = 112,1900

Coefficiente de Variação = 7,678 %

ANEXO 3B - Quadro de análise de variância dos teores pH, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,0817	0,0817	63,0384	0,00001*
Fontes	8	8,3015	1,0380	800,8307	0,00001*
Época * Fontes	8	0,1466	0,0183	14,1471	0,00001*
Resíduo	36	0,0466	0,0013		
Total	53	8,5765			

Média Gera = 4,2685

Coefficiente de Variação = 0,843 %

ANEXO 4B - Quadro de análise de variância dos teores cálcio trocável, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,0535	0,0535	9,3224	0,00445*
Fontes	8	20,1926	2,5240	439,6734	0,00001*
Época * Fontes	8	0,1281	0,0160	2,7903	0,01630*
Resíduo	36	0,2067	0,0057		
Total	53				

Média Geral = 0,6129
Coeficiente de Variação = 12,361 %

ANEXO 5B - Quadro de análise de variância dos teores magnésio trocável, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de diferentes fontes aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,6038	0,6038	412,7129	0,00001*
Fontes	8	6,8989	0,8623	589,4644	0,00001*
Época * Fontes	8	0,0155	0,0019	1,3275	0,26111
Resíduo	36	0,0520	0,0015		
Total	53				

Média Geral = 0,3891
Coeficiente de Variação = 9,831 %

ANEXO 6B - Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	33,2853	33,2853	230,6100	0,00001*
Doses	4	213,5913	53,3978	369,9545	0,00001*
Época * Doses	4	3,6647	0,9162	6,3475	0,00212*
Resíduo	20	2,8867	0,1443		
Total	29	253,4280			

Média Geral = 6,880
Coeficiente de Variação = 5,522 %

ANEXO 7B – Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	81,0163	81,0163	561,3029	0,00001
R. Quadr.	1	0,4586	0,4586	3,1773	0,08661
R. Cúbica	1	0,1398	0,1398	0,9687	0,66174
R. Grau 4	1	0,0212	0,0212	0,1472	0,70634
Resíduo	20				

ANEXO 8B – Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	133,9853	133,9853	928,2865	0,00001
R. Quadr.	1	0,3872	0,3872	2,6830	0,11371
R. Cúbica	1	1,1478	1,1478	7,95220	0,01027
R. Grau 4	1	0,0966	0,0966	0,6910	0,57919
Resíduo	20	2,8867	0,1443		

ANEXO 9B - Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	411,9592	411,9592	712,9931	0,00001*
Doses	4	2301,4108	575,3527	995,7843	0,00001*
Época * Doses	4	150,2629	37,5657	65,0163	0,00001*
Resíduo	20	11,5558	0,5778		
Total	29	2875,1886			

Média Geral = 16,848

Coefficiente de Variação = 4,512%

ANEXO 10B – Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	638,8084	638,8084	1105,6094	0,00001
R. Quadr.	1	0,1503	0,1503	0,2602	0,62097
R. Cúbica	1	0,0179	0,0179	0,0311	0,85607
R. Grau 4	1	0,7866	0,7866	1,3614	0,25603
Resíduo	20	11,5558			

ANEXO 11B – Regressão polinomial para teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	1807,3038	1807,3038	3127,9678	0,00001
R. Quadr.	1	0,0166	0,0166	6,9516	0,01511
R. Cúbica	1	0,3924	0,3924	0,6792	0,57536
R. Grau 4	1	0,1976	0,1976	0,34200	0,57157
Resíduo	20	11,5558	0,5778		

ANEXO 12B - Quadro de análise de variância valores de pH, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,0083	0,0083	6,2420	0,02022*
Doses	4	2,3120	0,5780	433,3694	0,00001*
Época * Doses	4	0,0200	0,0050	3,7504	0,01943*
Resíduo	20	0,0267	0,0013		
Total	29	2,3670			

Média Geral = 4,3100

Coeficiente de Variação = 0,847 %

ANEXO 13B – Regressão polinomial para valores de pH, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	1,2403	1,2403	929,9731	0,00001
R. Quadr.	1	0,0175	0,0175	13,1009	0,00201
R. Cúbica	1	0,0048	0,0048	3,5819	0,06995
R. Grau 4	1	0,00008	0,00008	0,0623	0,80061
Resíduo	20	0,0267			

ANEXO 14B – Regressão polinomial para valores de pH, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	1,0641	1,0641	797,825	0,00001
R. Quadr.	1	0,00002	0,00002	0,0194	0,88561
R. Cúbica	1	0,0032	0,0032	2,4050	0,13334
R. Grau 4	1	0,0020	0,0020	1,5120	0,23145
Resíduo	20	0,0267	0,0013		

ANEXO 15B - Quadro de análise de variância para os valores de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,0030	0,0030	0,6000	0,54646
Doses	4	15,4450	3,8612	772,2383	0,00001*
Época * Doses	4	0,2820	0,0705	14,1001	0,00006*
Resíduo	20	0,1000	0,0050		
Total	29	15,8297			

Média Geral = 1,003

Coeficiente de Variação = 7,048 %

ANEXO 16B – Regressão polinomial para valores de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	5,7641	5,7641	1152,8240	0,00001
R. Quadr.	1	0,0118	0,0118	2,365	0,13629
R. Cúbica	1	0,0017	0,0017	0,3428	0,57112
R. Grau 4	1	0,0050	0,0050	1,0064	0,32925
Resíduo	20	0,1000			

ANEXO 17B - Regressão polinomial para valores de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	9,9188	9,9188	1983,7630	0,00001
R. Quadr.	1	0,0105	0,0105	2,1094	0,15885
R. Cúbica	1	0,0103	0,0103	2,0593	0,16374
R. Grau 4	1	0,0044	0,0044	0,8813	0,63837
Resíduo	20	0,1000			

ANEXO 18B - Quadro de análise de variância para os valores de magnésio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 60 e 120 dias de incubação.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Época	1	0,3542	0,3542	1832,3124	0,00001*
Doses	4	0,0008	0,0002	1,0948	0,38664
Época * Doses	4	0,0014	0,0003	1,7845	0,17099
Resíduo	20	0,0038	0,0001		
Total	29				

Média Geral = 0,195

Coeficiente de Variação = 7,118 %

ANEXO C

ANEXO 1C - Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarêncio, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após colheita do arroz.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Doses	4	0,3070	0,0768	7,1395	0,00385*
Blocos	3	0,0135	0,0045	0,4186	0,74554
Resíduo	12	0,1290	0,0107		
Total	19				

Média Geral = 0,745

Coeficiente de Variação = 13,917 %

ANEXO 2C - Regressão polinomial para os teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após colheita do arroz.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	0,2102	0,2102	19,5580	0,00110
R. Quadr.	1	0,0764	0,0764	7,1120	0,01963
R. Cúbica	1	0,0104	0,0104	0,9726	0,65480
R. Grau 4	1	0,1290	0,0098	0,9153	0,64009
Resíduo	12		0,0107		

ANEXO 3C - Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após colheita do arroz.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Doses	4	4,5970	1,1492	11,3881	0,00073*
Blocos	3	0,0240	0,0080	0,0793	0,96945
Resíduo	12	1,2109	0,1009		
Total	19	5,8320			

Média Geral = 1,82

Coefficiente de Variação = 17,455 %

ANEXO 4C - Regressão polinomial para os teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após colheita do arroz

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	4,3230	4,3230	42,8381	0,00010
R. Quadr.	1	0,2253	0,2253	2,2323	0,15834
R. Cúbica	1	0,0106	0,0106	0,1053	0,74888
R. Grau 4	1	0,0380	0,0380	0,3768	0,55664
Resíduo	12	1,2109	0,1009		

ANEXO 5C - Quadro de análise de variância dos teores de Si na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Doses	4	4,8959	1,2240	58,0298	0,00001*
Blocos	3	0,0172	0,0057	0,2721	0,84511
Resíduo	12	0,2531	0,0211		
Total	19	5,1663			

Média Geral = 0,939

Coefficiente de Variação = 15,458 %

ANEXO 6C - Regressão polinomial para os teores de Si na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	4,8163	4,8163	228,3449	0,00001
R. Quadr.	1	0,0378	0,0378	1,7923	0,20347
R. Cúbica	1	0,0193	0,0193	0,9172	0,64058
R. Grau 4	1	0,2246	0,2246	1,0648	0,32371
Resíduo	12	0,2531	0,0210		

ANEXO 7C - Quadro de análise de variância dos teores de Si acumulados na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Doses	4	0,6004	0,1501	53,3231	0,00001*
Blocos	3	0,0037	0,0012	0,4405	0,73105
Resíduo	12	0,0338	0,0028		
Total	19	0,6379			

Média Geral = 0,328

Coefficiente de Variação = 16,176 %

ANEXO 8C - Regressão polinomial para os teores de Si acumulados na parte aérea do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	0,5965	0,5965	211,9283	0,00001
R. Quadr.	1	0,0010	0,0010	0,3629	0,56390
R. Cúbica	1	0,0022	0,0022	0,7764	0,60061
R. Grau 4	1	0,0063	0,0063	0,2244	0,64798
Resíduo	12	0,0338	0,0028		

ANEXO 9C - Quadro de análise de variância para produção de grãos do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Doses	4	30,3753	7,5938	1,0069	0,44285 ^{n.s.}
Blocos	3	13,9480	4,6493	0,6165	0,62039
Resíduo	12	90,5017	7,5418		
Total	19	134,8251			

Média Geral = 21,219

Coefficiente de Variação = 12,942 %

ANEXO 10C - Regressão polinomial para produção de grãos do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	0,0465	0,0465	0,0062	0,93665 ^{n.s.}
R. Quadr.	1	7,6664	7,6664	1,0165	0,33486
R. Cúbica	1	2,9406	2,9406	0,3899	0,54994
R. Grau 4	1	19,7220	19,7220	2,6150	0,12898
Resíduo	12	90,5017	7,5418		

ANEXO 11C - Quadro de análise de variância para massa de panículas do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Doses	4	63,2582	15,8145	3,1931	0,05257
Blocos	3	29,6575	9,8858	1,9961	0,16787
Resíduo	12	59,4321	4,9526		
Total	19	152,3478			

Média Geral = 22,888

Coefficiente de Variação = 9,723 %

ANEXO 12C - Regressão polinomial massa de panículas, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	0,8614	0,8614	0,1739	0,68589 ^{n.s.}
R. Quadr.	1	9,4958	9,4958	1,9173	0,18913
R. Cúbica	1	2,2188	2,2188	0,4480	0,52192
R. Grau 4	1	50,6820	50,6820		0,00760
Resíduo	12	59,4321	4,9526		

ANEXO 13C - Quadro de análise de variância para matéria seca do arroz, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Doses	4	53,1995	13,2998	4,2842	0,02201*
Blocos	3	20,3041	6,7680	2,1802	0,14278
Resíduo	12	37,2524	3,1044		
Total	19	110,7560			

Média Geral = 35,013

Coefficiente de Variação = 5,032 %

ANEXO 14C - Regressão polinomial matéria seca, em função da aplicação de doses de Wollastonita.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
R. Linear	1	1,4688	1,4688	0,4731	0,51060
R. Quadr.	1	22,2056	22,2056	7,1530	0,01936
R. Cúbica	1	7,6044	7,6044	2,4496	0,14076
R. Grau 4	1	21,9222	21,9222	7,0617	0,01997
Resíduo	12	37,2524	3,1044		

ANEXO 15C - Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, após colheita do arroz

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Fontes	5	0,2550	0,0510	3,5581	0,02528*
Blocos	3	0,9000	0,0300	2,0930	0,14342
Resíduo	15	0,2150	0,0143		
Total	23	0,5600			

Média Geral = 0,650

Coeficiente de Variação = 18,419%

ANEXO 16C - Quadro de análise de variância dos teores de Si, extraídos em ácido acético, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de diferentes fontes, após colheita do arroz

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Fontes	5	3,1537	0,6307	4,7120	0,00889*
Blocos	3	0,6046	0,2015	1,5055	0,25309
Resíduo	15	2,0079	0,1338		
Total	23	5,7662			

Média Geral = 1,887

Coeficiente de Variação = 19,384

ANEXO 17C - Quadro de análise de variância dos teores de Si na parte aérea do arroz, em função da aplicação de diferentes fontes.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Fontes	5	0,8275	0,1655	11,6859	0,00022*
Blocos	3	0,0128	0,0043	0,3008	0,82563
Resíduo	15	0,2124	0,0142		
Total	23	1,0527			

Média Geral = 0,886

Coeficiente de Variação = 13,428%

ANEXO 18C - Quadro de análise de variância dos teores de Si acumulados na parte aérea do arroz, em função da aplicação de diferentes fontes.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Fontes	5	0,1582	0,0316	5,9954	0,00338*
Blocos	3	0,0085	0,0028	0,5357	0,66828
Resíduo	15	0,0791	0,0053		
Total	23	0,2457			

Média Geral = 0,305

Coeficiente de Variação = 23,849 %

ANEXO 19C - Quadro de análise de variância para produção de grãos do arroz, em função da aplicação de diferentes fontes.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Fontes	5	88,7114	17,7423	3,9433	0,01748*
Blocos	3	17,7054	5,9018	1,3117	0,30714
Resíduo	15	67,4898	4,4993		
Total	23	173,9067			

Média Geral = 19,480

Coefficiente de Variação = 10,889%

ANEXO 20C - Quadro de análise de variância de massa de panículas, em função da aplicação de diferentes fontes.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Fontes	5	73,4969	14,6993	2,0977	0,12207
Blocos	3	10,2503	3,4167	0,4876	0,69930
Resíduo	15	105,1117	7,0074		
Total	23	188,859			

Média Geral = 22,071

Coefficiente de Variação = 11,994 %

ANEXO 21C - Quadro de análise de variância para matéria seca do arroz, em função da aplicação de diferentes fontes.

CV	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F.
Fontes	5	68,5701	13,7140	4,3083	0,01255
Blocos	3	34,7117	11,5705	3,6350	0,03708
Resíduo	15	47,7471	3,1831		
Total	23	151,029			

Média Geral = 32,775

Coefficiente de Variação = 5,444 %