

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

REAÇÃO DE FONTES DE SILÍCIO EM QUATRO SOLOS DO CERRADO

ANGÉLICA ARAÚJO QUEIROZ

HAMILTON SERON PEREIRA
(Orientador)

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

Uberlândia-MG

Julho –2003

REAÇÃO DE FONTES DE SILICIO EM QUATRO SOLOS DO CERRADO.

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA EM ____ / ____ / ____

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
(Orientador)

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
(Membro da banca)

Prof. Dr. Mônica Sartori de Camargo
(Membro da banca)

Uberlândia-MG

Julho-2003

AGRADECIMENTOS

A DEUS,

Que me orientou e me deu força para terminar mais essa etapa da vida.

AOS MEUS PAIS

José Roberto Queiroz e Amália Araújo Lemes Queiroz, que me incentivam em minhas conquistas.

AOS MEUS AMIGOS

Que foram meus companheiros durante cinco anos e me ajudaram na realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

AOS PROFESSORES

HAMILTON SERON PEREIRA, MÔNICA SARTORI DE CAMARGO, GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER, pela confiança que tiveram para que eu conduzisse trabalho.

AOS ESTAGIÁRIOS E TÉCNICOS DO LAFER

Pela ajuda durante todo o tempo de meu estágio.

ÍNDICE

RESUMO	4
1.INTRODUÇÃO	6
2.REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Efeito do Silício no solo.....	8
2.2 Fontes de Silício.....	9
2.3 Agregados siderúrgicos.....	11
3.MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Fontes.....	17
3.2 Estudo de comportamentos das fontes de silício no solo.....	18
3.3 Avaliação do Si, pH, Ca e Mg no solo.....	20
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 pH.....	21
4.2 Si em Ácido Acético.....	24
4.3 Si em água.....	28
4.4 Ca no solo.....	31
4.5 Mg no solo.....	33
5.CONCLUSÃO	36
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

RESUMO

O objetivo foi avaliar materiais (fertilizantes/agregados silicatados) de alta concentração em Si através de métodos químicos de incubação de solo quanto à sua eficiência agrônômica e reatividade no solo. O experimento foi instalado na casa-de-vegetação do ICIAG/UFU. Para determinar a reatividade e a velocidade de liberação do Si proveniente dos materiais nos solos, dois estudos de incubação (com e sem balanço de Ca e Mg) foram conduzidos utilizando-se 4 solos sob vegetação de cerrado: Latossolo Disférico (LVdf), Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho Distrófico (LVAd) e Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo). Os tratamentos utilizados foram: Wollastonita, Silifertil AF, Silifertil LD, Rodhia, MB-4, CSN AF, CSN LD, Acesita, Belgo, Belgo (Siderme), Recmix e Açominas, mais a testemunha, sendo que o tratamento com Wollastonita foi em doses de 125, 250 e 500mg kg⁻¹ e os demais tratamentos na dose de 125mg kg⁻¹. O solo foi mantido próximo à capacidade de campo durante 90 dias e, após esse período, foi seco ao ar, peneirado e realizada as análises de Ca, Mg extração em KCl, Si em ácido acético 0,5M, Si em água e pH em CaCl₂. Através dos resultados obtidos pode-se concluir que: no experimento com balanceamento de Ca e Mg, o teor de Si em do ácido acético foi maior, comparado ao experimento sem balanceamento, há grupos de fontes mais solúveis que outros; a análise de Si em água extrai menos Si do que a análise em ácido acético, sendo assim, mais confiável. O ácido acético superestima o Si de certas fontes, principalmente quando foi usado o carbonato de cálcio no balanceamento de Ca; as fontes originadas de Alto Forno, possuem alto teor de Si, porém esse Si não está na forma

prontamente disponível; a fonte Belgo Siderme apresentou teores Si, Mg e Ca na forma mais solúvel.

1.INTRODUÇÃO

Os solos tropicais são, de certo modo altamente intemperizados, onde os minerais primários contendo Si são quase inexistentes. Várias classes de solos da região central do Brasil (áreas de cerrado) são pobres em Si solúvel (disponível para as plantas) nos horizontes superiores. Nestas condições é de se esperar resposta para aplicação de Si na forma de fertilizantes principalmente e/ou corretivos silicatados quando aplicado em plantas acumuladoras de Si como é caso da maioria das gramíneas. A importância do Si para algumas espécies de plantas vem sendo demonstrada e níveis críticos de suficiência para solo e planta estão sendo estabelecidos no Brasil. Para suprir esta demanda, há necessidade de identificar as fontes mais promissoras capaz de fornecer Si as plantas na forma disponível ou potencialmente disponível.

As características mais importantes de uma fonte de Si para fins de uso na agricultura são: alto conteúdo de Si-solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas e baixo custo.

Os silicatos de Ca e Mg, provenientes de agregados siderúrgicos da produção de aço, podem atender perfeitamente a essa demanda, desde que sem potencial de contaminação do solo, com metais pesados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar materiais (fertilizantes/escórias silicatados) de alta concentração em Si através de métodos químicos de incubação de solo que permitam com antecedência caracterizar um fertilizante silicatado quanto a sua eficiência agrônômica e reatividade no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Efeito do Si no solo

O Si é segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos. Ocorre em altos teores em solos, principalmente, na forma de silicatos, e no quartzo (SiO_2 - mineral inerte das areias).

Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de Si presentes no solo são: Si solúvel (H_4SiO_4 - ácido monossilícico) que desprovido de carga elétrica tem interessantes conseqüências no comportamento da sílica com relação aos vegetais (Raij & Camargo, 1973); Si adsorvido ou precipitado com óxidos de Ferro e Alumínio e os minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). A solubilidade destes minerais dependem da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) na sua estrutura. A dissolução destes minerais também é afetada por fatores de solo tais como: matéria orgânica, teor de umidade, potencial de óxido - redução e sesquióxidos.

Os solos do Cerrado são altamente intemperizados, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases, baixos teores de Si trocável e baixa relação (Ki) $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e (Kr) Sílica/Sesquióxidos de Fe e Al apresentando portanto, baixa capacidade de fornecimento de Si disponível para as plantas (Brady, 1992; Silva, 1973; Soils and Rice, 1978). Estes solos apresentam como características: baixa fertilidade natural e alta acidez, além de possuírem elevados teores de sesquióxidos de Fe e Al que contribuem para a alta capacidade de adsorção de fósforo que pode ser reduzida com a adubação silicatada.

A absorção de Si da solução do solo dá-se de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas. O Si é absorvido pela planta como ácido monossilícico, H_4SiO_4 (Jones & Handreck, 1967).

Vários métodos de extração de Si, já foram propostos, porém estudos recentes indicam que alguns extratores, como o ácido acético extrai mais Si da fonte do que realmente possuem. Com isso, vários outros métodos estão sendo testados, como a extração de Si em água.

2.2 Fontes de Si

Entre as fontes de Si mais utilizadas, se encontram a wollastonita, escórias de siderurgia, silicato de cálcio (sub-produto da produção do fósforo elementar) e o cimento (Snyder et al., 1986). Quanto à quantidade de silicatos a ser aplicada ao solo, essa deve ser

baseada em qualquer um dos métodos de recomendação de calagem, isso porque os silicatos de Ca e Mg apresentam comportamento e composição semelhantes ao dos

carbonatos, podendo substituir os calcários com vantagens. Em solos com pH e/ou saturação de bases em níveis desejáveis, visando exclusivamente, o fornecimento de Si, não aplicar doses superiores de 800 kg ha^{-1} de silicato (Korndörfer et al., 2002). Doses de Si depende da fonte, do tipo de solo e da cultura em questão.

Alguns ácidos fracos podem, entretanto, diferenciar melhor a viabilidade agronômica do Si presente em certos compostos. A extração do fertilizante com ácidos fracos (ácido cítrico) é uma alternativa que merece ser testada. A indústria de fertilizantes Mitsui (Brasil) desenvolveu um método baseado na extração com ácido cítrico 2%. Este método apresenta um grande potencial para se avaliar a eficiência de fontes de Si em laboratório. Uma segunda alternativa para se avaliar a eficiência de fontes de Si é o método da incubação que consiste na mistura das fontes com o solo e depois de um determinado período de tempo mede-se a quantidade de Si disponível no solo. Medina- Gonzales et al. (1988) utilizaram o mesmo teste para avaliar duas fontes de Si e dois tamanhos de partículas na região do Havai. Neste trabalho foram usados sacos plásticos e o solo incubado próximo à capacidade de campo. Depois de 60 dias de incubação o Si foi analisado utilizando-se a água como extrator, 0,5M acetato de amônio e pasta saturada. O Si extraído foi determinado nas raízes da cana-de-açúcar. Os autores encontraram que a fonte CaSiO_3 foi mais eficiente que o Ca_2SiO_4 e que, em geral, as partículas de menor tamanho aumentam a liberação do Si para as plantas. Ainda neste mesmo estudo, os autores observaram que a absorção de Si pelas raízes foi melhor relacionada com a extração com água seguida da pasta saturada e por último com acetato de amônia.

A aplicação de silicatos finamente moídos ao solo é prática agrônômica e comercial no Havaí e em outras partes do mundo, por causa dos aumentos de produtividade. O efeito positivo dos silicatos são normalmente associados ao aumento na disponibilidade do Si-solúvel ou “disponível”, ao aumento do pH e também no aumento de micronutrientes que esses produtos podem conter. O Si pode atuar ainda na redução do Fe e Mn tóxicos para as plantas.

Imaizumi & Yoshida (1958) estabeleceram um critério para aplicação de fertilizantes silicatados, segundo o qual, a cultura do arroz responderia ao Si no solo se a quantidade extraível em acetato de sódio (pH 4,0) fosse menor do que 4,9 mg 100g⁻¹ de Si.

A adição de termofosfato (fertilizante fosfatado) ao solo como fonte de Si mostrou-se bastante satisfatória para a cultura do arroz (Freire et al., 1985). Esse resultado, em grande parte foi atribuído ao Si porque este aumenta o poder oxidante das raízes de arroz, favorecendo a oxidação e deposição (precipitação) do Fe na superfície das raízes, diminuindo assim a sua absorção pela planta e efeito tóxico. Segundo Okuda & Takahashi (1964) o Si aumenta o suprimento de oxigênio para as raízes e seu poder de oxidação, na proporção que é absorvido pela planta. Além disso, segundo os autores acima citados plantas desenvolvidas em solução nutritiva contendo Si produziram mais matéria verde, aumentaram a relação P/Fe e P/Mn e promove a translocação do fósforo absorvido para a parte aérea e panículas.

2.3 Escórias Siderúrgicas

As escórias siderúrgicas são resíduos da metalurgia do ferro, através de processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1900° C. Neste processo uma

carga composta por minério de ferro (hematita Fe_2O_3), limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou magnetita (Fe_3O_4), carvão coque e um fundente, calcário (CaCO_3), é introduzida na parte superior do forno e, através da ação térmica, é obtido o ferro-gusa e a escória.

A escória é o produto da reação do calcário com a sílica (SiO_2), principal impureza presente no minério de ferro:



A cada 4 toneladas de ferro-gusa produzidas, é gerada em média 1 tonelada de escória de alto forno (Coelho, 1998).

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de ferro-gusa, com uma produção anual de cerca de 25 milhões de toneladas, o que corresponde à geração de cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória por ano. O Estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional, responsável por mais da metade de todo ferro-gusa produzido internamente.

TABELA 1. Composição química da escória de alto forno de diferentes procedências.

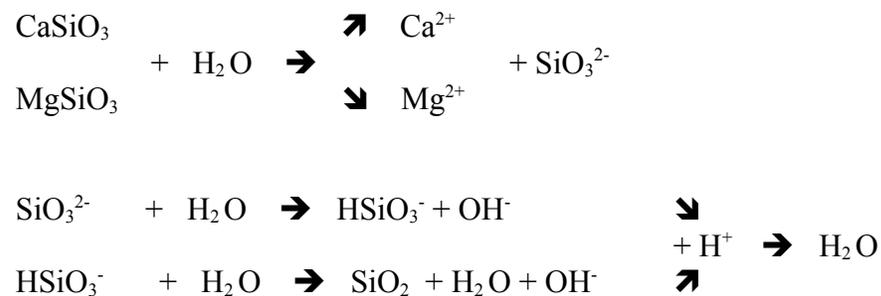
Origem da Escória	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
MANESMANN	----- % -----									
Alto Forno 1	1,8	-	2,4	44,5	13,1	30,1	5,5	0,05	1,2	0,08
Alto Forno 2-CV	0,5	-	1,3	41,2	11,2	32,7	11,9	0,02	0,9	0,08
Alto Forno 2-CQ	0,2	-	1,3	35,0	12,1	35,4	14,6	0,02	0,2	0,8
Forno LD	17,2	9,6	4,8	12,2	1,4	47,6	5,7	1,3	0	0,05
Forno Elétrico	13,9	8,5	7,5	12,5	5,0	44,5	6,5	1,0	0	0,18
Baixo Forno 1	0,09	-	0,4	35,7	15,9	36,6	10,2	0,02	0,7	0,08
Baixo Forno 2	0,06	-	0,4	36,4	16,0	35,8	10,3	0,02	0,7	0,06
COSIPA										
Alto Forno 2	-	-	0,70	35,5	10,5	42,75	7,83	-	-	1,27

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA et al., 1994; COSIPA, 1999 (comunicação pessoal).

Em seu estado original, a escória é um material granulado de composição química e granulométrica bastante variável, em função do tipo de processamento, do minério de ferro e do sistema de granulação utilizado (Tabela 1).

Durante o processo para a obtenção do ferro gusa, a sílica do minério de ferro reage com o cálcio do calcário no alto forno dando um silicato de cálcio com impurezas. O material fundido é resfriado ao ar, na água, seco e moído.

As escórias básicas de siderurgia podem ser utilizadas como corretivos de solo, e também como fonte de nutrientes. São formadas principalmente de silicato de cálcio e magnésio contendo impurezas tais como P, S, Fe, Zn, Cu, B, Mo, Co, etc. Os silicatos comportam-se de maneira similar aos carbonatos no solo, devem ser comercializados na forma de pó e quanto mais finamente moídos, maior a sua reatividade e eficiência agronômica. Os efeitos benéficos da aplicação de silicatos de Ca e Mg estão, normalmente associados a capacidade de elevar o pH, neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos, aumentar a disponibilidade do Si (Korndörfer et al., 2002). De acordo com Alcarde (1992), as reações de materiais silicatados que ocorrem no solo são:



As escórias são ricas em Ca e Mg e apresentam ainda, em sua composição, alguns dos principais macro e micronutrientes requeridos em plantações florestais e na agricultura, como o P, o Fe e o Mn (Kluger, 1989).

A alta concentração de carbonatos de cálcio e magnésio sugere sua utilização como corretivo de acidez do solo e como fonte de Ca e Mg para as plantas, em substituição ou como complemento à adubação tradicional desses elementos, especialmente para solos arenosos de baixíssima fertilidade.

Comparada ao calcário, a eficiência agrônômica da escória varia de acordo com a granulometria, a dosagem, o tipo de solo e o tempo de contato com o solo (Piau, 1991; Novais et al., 1993; Amaral Sobrinho et al., 1993; Oliveira et al., 1994).

A escória de alto forno apresenta maior liberação de K e a de aciaria maior disponibilidade de Ca. A granulometria mais fina permite a ambas uma maior reatividade com o solo, tanto nos arenosos como nos argilo-arenosos (Novais et al., 1993). Escórias de alto forno com partículas menores que 0,3mm são mais eficientes no fornecimento de Ca e Mg para o solo, enquanto que as mais grosseiras, com partículas maiores que 2 mm, são as menos efetivas (Oliveira et al., 1994). Por exemplo, foram necessárias maiores quantidades de escória de alto forno de 2,0 mm em relação à de 0,3 mm para a produção da mesma quantidade de matéria seca por mudas de *Eucalyptus urophylla* (Novais et al., 1993).

Estudos da aplicação de escória, enriquecida com P devido à baixa concentração desse elemento nesse resíduo, em plantios de *Eucalyptus*, indicam bons resultados quando aplicada juntamente com rocha fosfatada e fertilizantes químicos (Oliveira et al., 1994). Num dos experimentos, realizado em dois solos arenosos (com 67 e 83% de areia) no Estado de Minas Gerais, esses autores compararam a aplicação de 600 kg ha⁻¹ de uma

mistura de escórias de forno LD e elétrico, enriquecida com 1% de fósforo, com várias fontes de fertilizantes fosfatados (110 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicados em sulcos, antes do plantio de *E. camaldulensis*, obtendo bons incrementos volumétricos aos 7 anos de idade. Num outro ensaio nessa mesma área, Oliveira et al. (1994) também obtiveram maiores produções volumétricas dessa espécie nos tratamentos com a mesma mistura de escória em comparação com a adubação química.

Ao se procurar atender às necessidades nutricionais do eucalipto utilizando a escória de alto forno como fonte de nutrientes, deve-se ficar atento para o aumento do pH do solo, especialmente dos mais arenosos, de menor capacidade tampão. Neste caso, não se aconselha utilizar mais que duas ou três toneladas por hectare. Em solos argilosos, mesmo com uma dosagem maior, não se observa muita alteração no pH (Oliveira et al., 1994).

O baixo custo dos calcários comerciais, a necessidade de moagem da escória para adequação da granulometria e a alta concentração de metais pesados (Tabela 2) são alguns dos fatores que limitam, atualmente, seu uso.

O uso de escórias de granulometria média e fina, isto é, abaixo de 1mm, e o aumento na dosagem são recomendações para viabilizar seu emprego em plantações florestais (Oliveira et al., 1994). Para a COSIPA, por exemplo, cerca de 70% da escória gerada está classificada nestas classes granulométricas.

TABELA 2. Concentração de metais pesados e elementos químicos em escória de AF.

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
	g/kg		mg/kg
Ca	270	Mo	26
Mg	37	Zn	545
K	7,8	Cu	358

P	0,5	B	84
S	0,4	Pb	205
Fe	35,2	Cr	975
Al	34,8	Ba	341
Ti	2,0	Cd	16
Mn	14,0	Sr	1279
		Co	20

Fonte: Piau, (1991).

Quanto à contaminação do solo por metais pesados, nem todas os agregados siderúrgicos podem ser utilizados na agricultura, portanto, os silicatos de Ca e Mg, desde que sem potencial de contaminação do solo, com metais pesados, podem atender perfeitamente as características para uso na agricultura (Korndörfer et al., 2002).

Os agregados siderúrgicos de alto forno, possuem maiores quantidades de metais pesados, porém possuem teores elevados de SiO₂.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Fontes

As fontes foram definidas em função do potencial de uso na agricultura e capacidade de fornecimento de Si. Os materiais foram caracterizados quanto a sua origem, teores de Si-total, Ca, Mg e Poder de neutralização (PN).

TABELA 3. Caracterização das fontes de Si utilizadas.

Material	Origem	SiO ₂	CaO	MgO	PN	PN
		Total	g kg ⁻¹			calculado
		-----	-----	-----	%CaCO ₃	%CaCO ₃
Wollastonita	Vanzil	502,7	424,3	1,9	76,4	73,5
Escória de alto-forno	Silifétil	383,7	301,4	75,2	72,6	70,0
Escória de LD	Silifétil	122,8	409,4	72,7	91,3	90,5
Escória de P elementar	Rhodia	461,1	435,0	6,8	79,5	63,0
MB-4	MIBASA	428,4	70,1	107,8	39,3	33,0
Escória de alto-forno	CSN	333,8	425,3	52,3	89,1	87,5
Escória de LD	CSN	109,1	281,9	76,1	69,3	96,0
Escória de AOD	Acesita	100,9	564,2	57,8	115,3	118,5
Escória de LD	Belgo Mineira	173,9	395,2	95,5	94,4	102,5
Escória forno elétrico	Belgo (Siderme)	158,3	257,2	125,7	77,2	95,0
Escória de aço inox	Recmix	232,2	366,1	94,3	89,1	87,5

Escória de LD	Açominas	111,9	276,3	28,5	56,5	91,5
---------------	----------	-------	-------	------	------	------

Como fonte padrão de comparação foi usado a Wollastonita, produto mundialmente utilizada em estudos com Si e que apresenta um alto grau de pureza, rico em de CaSiO_3 . As amostras de escórias foram secas e peneiradas passando por uma malha de 50 mesh.

3.2 Estudo do comportamento das fontes de Si no solo

Para determinar a reatividade e a velocidade de liberação do Si proveniente dos materiais (escórias) nos solos, dois estudos de incubação (com e sem balanço de Ca e Mg) foram conduzidos utilizando-se 4 solos característicos da região central do Brasil (Cerrado). Os solos variam em desenvolvimento, textura e cor. Eles são classificados como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico (LVAd), Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) e Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo).

TABELA 4. Características dos solos usados nos experimentos.

Solos *	pH	P**	Si	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	CTC	V	m	M.O.
			---mg dm ⁻³ --	-----		cmol _c dm ⁻³	-----			---- % ----		g kg ⁻¹
LVAd	5,0	4,0	35,7	0,7	0,2	0,0	0,3	1,0	7,7	4	70	45
LVdf	5,0	16,0	18,5	0,5	3,8	1,6	5,8	6,3	11,8	49	8	41
LVd	4,4	2,0	16,6	0,7	0,2	0,0	0,3	1,0	7,3	4	73	40
RQo	4,4	56,0	3,3	1,0	0,2	0,1	0,4	1,4	5,2	7	71	15

Os experimentos foram instalados em Janeiro e em Junho de 2002. Para o experimento com balanço de Ca e Mg e sem balanço respectivamente, na casa de vegetação do ICIAG/UFU com a aplicação dos tratamentos em potes com 250 g de solo. Em seguida o solo foi umedecido até próximo a capacidade de campo para que as reações químicas

ocorressem. A quantidade de água aplicada para cada solo foi de 60ml, 110ml, 90ml e 110ml por pote para os solos RQo, LVAd, LVd e LVdf respectivamente. Somando-se a água aplicada ao peso do solo tivemos então 310g para a RQo, 360g para o LVAd, 340g para o LVdf e 360g por pote para o LVd. Estes pesos servem como parâmetro para se verificar a evaporação de água para que esta pudesse ser repostada. Os estudos de incubação foram conduzidos segundo metodologia descrita por Median-Gonzales et al. (1988). Os tratamentos no estudo de incubação consistiram de fontes e doses de Si conforme descrito na Tabela 5.

TABELA 5. Tratamentos aplicados no experimento.

ESCÓRIA	Teor Si	Dose Si	Dose Produto	Dose* Ca	Dose* Mg	Dose** CaCO ₃	Dose*** MgCO ₃
	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹				
Testemunha	-	-	-	0	0	2531	456
Wollastonita	234,58	125	533	162	1	2149	454
Wollastonita	234,58	250	1066	323	1	1767	452
Wollastonita	234,58	500	2131	646	2	1003	447
Silifertil AF	179,06	125	698	150	31	2176	343
Silifertil LD	57,29	125	2182	638	95	1022	116
Rodhia	215,18	125	581	181	2	2104	447
MB-4	199,94	125	625	31	40	2457	311
CSN AF	155,76	125	802	244	25	1955	366
CSN LD	50,91	125	2455	494	112	1362	55
Acesita	47,08	125	2655	1070	92	0	127
Belgo LD	81,11	125	1541	435	88	1502	141
Belgo (Siderme)	73,86	125	1692	311	128	1796	0
Recmix	108,35	125	1154	302	65	1816	223
Açominas	52,21	125	2394	472	41	1414	310

* Dose de Ca e Mg fornecido pelos produtos

** Dose de CaCO_3 para igualar os teores de Ca aplicado no experimento 1 (com balanço de Ca)

*** Dose de MgCO_3 para igualar os teores de Mg aplicado no experimento 1 (com balanço de Mg)

3.3 Avaliação do Si, pH, Ca e Mg no solo

Após 90 dias de incubação, amostras homogêneas de terra foram retiradas de dentro de cada pote plástico, secas ao ar e depois analisadas quanto ao Si "extraível" (0,5 M ácido acético), pH em CaCl_2 , Ca e Mg (extração com KCl), métodos descritos pela Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais (5ª Aproximação, 1999) e a análise de Si em água foi feita de acordo com método descrito abaixo.

Extração: foram pesadas e colocadas em copos plásticos junto com 100ml de uma solução de água (que é a responsável pela extração do Si), 10g da amostra do solo e agitados posteriormente por uma hora. Após, esperou-se decantar por 15 minutos e filtrou a suspensão, deixando-a em repouso por uma noite (12h).

Determinação: Foi pipetada uma alíquota de 10ml do extrato (filtrado/decantado) e colocada num Baker ou "copo de cafezinho" juntamente com 1ml da solução sulfomolibídica (H_4SiO_4 – ácido ortosilícico, forma mais simples e solúvel de Si, que reage com o molibdato desenvolvendo a cor amarela). Após 10 minutos, foram acrescentados 2ml da solução de ácido tartárico 20%, utilizado para complexar o P da solução, e depois de mais 5 minutos adicionou-se 10ml da solução de ácido ascórbico, responsável pela redução do Si e transformação do complexo amarelo para a cor azul. Para finalizar, este foi deixado em repouso por uma hora para, em seguida, ser lido em espectrofotômetro Micronal-Espectrofotômetro (modelo: B.380) no comprimento de onda de 660 nm.

Os resultados foram avaliados estatisticamente fazendo-se regressões para as doses de Wollastonita e teste Tukey entre os demais tratamentos e testemunha.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 pH

Para avaliação do pH do solo em função das doses de Wollastonita. O experimento com balanceamento de Ca e Mg não apresentou variações significativas (tabela 6) enquanto no experimento sem balanceamento de Ca e Mg, as variações foram significativas (tabela 7) e apresentou aumentos lineares de pH com as doses de Wollastonita, exceto no Neossolo Quartzarênico onde o comportamento foi quadrático (Figura 1), isso se deve ao baixo poder tampão.

Na comparação do pH entre as fontes houve pequenas diferenças significativas quando houve o balanceamento com carbonato de Ca e Mg. A testemunha, em geral, apresentou maior correção do pH devido a mais rápida reação do $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ em

relação às fontes de Si. Os carbonatos (Ca e Mg) usados no experimento são de alta pureza e bastante fino o que favorece a reatividade.

TABELA 6. Resultados do pH nos solos com balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- pH (CaCl ₂) -----				
Testemunha	6,5a	7,9a	6,5a	6,9a	7,0a
Wollastonita	6,4ab	7,9a	6,5a	6,7ab	6,9abc
Silifertil AF	6,3ab	7,9a	6,5ab	6,7ab	6,9abc
Silifertil LD	6,3ab	7,7a	6,2ab	6,4ab	6,6cd
Rhodia	6,4ab	7,8a	6,4ab	6,7ab	6,8abc
MB-4	6,4ab	7,9a	6,5ab	6,8ab	6,9ab
CSN AF	6,1ab	7,8a	6,2ab	6,5ab	6,7cd
CSN LD	6,0b	7,7a	6,1b	6,3b	6,5d
Acesita	6,1ab	7,7a	6,3ab	6,6ab	6,7bcd
Belgo	6,2ab	7,8a	6,3ab	6,5ab	6,7bcd
Siderme	6,3ab	7,9a	6,5ab	6,6ab	6,8abc
Recmix	6,4ab	7,9a	6,5ab	6,7ab	6,9abc
Açominas	6,3ab	7,8a	6,4ab	6,6ab	6,8abcd
C.V. (%)	2,4	3,3	2,7	3,4	3,1
Valor de F	3,4**	0,5ns	3,1**	2,1*	5,8**
D.M.S. 5%	0,38	0,7	0,42	0,56	0,25

** F significativo a 1%

Com relação às fontes de Si, houve variação quanto à reatividade. A escória CSN LD apresentou na média uma correção menor de pH neste experimento, seguido da Silifertil de alto-forno e forno LD (Tabela 6). A testemunha também diferiu da Acesita e da Belgo indicando que as mesmas possuem poder de correção inferior ao carbonato. A escória Acesita não recebeu carbonato de cálcio por ser a fonte com o maior fornecimento deste elemento.

No experimento sem o balanço de Ca e Mg a Acesita foi o tratamento com maior correção do pH, devido a seu PN elevado e sua dose mais elevada devido ao baixo teor de Si em sua composição. Devido à variação do PN das fontes e nas doses aplicadas para

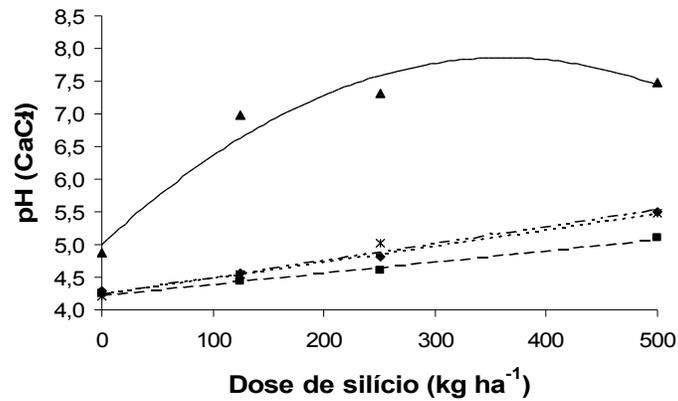
fornecer a mesma quantidade de Si, verifica-se uma variação bastante significativa do pH nos diferentes solos. Essa variação foi mais significativa quanto menor o poder tampão do solo onde a variação do pH foi maior.

TABELA 7. Resultados do pH nos solos sem balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- pH (CaCl ₂) -----				
Testemunha	4,3d	4,9g	4,3d	4,2h	4,4i
Wollastonita	4,4d	7,0c	4,6cd	4,6fg	5,1f
Silifertil AF	4,4d	6,4d	4,5cd	4,5fg	5,0fg
Silifertil LD	5,4b	7,7b	5,6ab	5,8c	6,1bcd
Rhodia	4,4d	6,9c	4,6cd	4,6f	5,1f
MB-4	4,3d	6,0e	4,4d	4,3gh	4,8gh
CSN AF	4,4d	5,3f	4,4cd	4,4fgh	4,6hi
CSN LD	5,5b	7,7b	5,6ab	5,5d	6,1cd
Acesita	6,3a	7,8ab	6,1a	6,5a	6,7a
Belgo	5,1bc	7,8ab	5,5ab	5,3de	5,9d
Siderme	5,5b	8,0a	5,9ab	6,1b	6,4b
Recmix	4,7cd	7,7b	5,2bc	5,1e	5,7e
Açominas	5,6b	7,8ab	5,9ab	5,8c	6,3bc
C.V. (%)	4,4	1,2	5,9	1,9	3,6
Valor de F	37,4**	586,6**	19,8**	247,6**	230,6**
D.M.S. 5%	0,54	0,22	0,76	0,24	0,23

** F significativo a 1%

Avaliando-se os dois experimentos, pode-se inferir que o poder correção dos silicatos de cálcio e magnésio é semelhante ao dos carbonatos de cálcio e magnésio.



—■—	LVAd	$Y = 4,22 + 0,002X^{**}$	$R^2 = 0,99$
—▲—	RQo	$Y = 5,0 + 0,016X - 0,00002X^2^{**}$	$R^2 = 0,95$
—◆—	LVdf	$Y = 4,25 + 0,002X^{**}$	$R^2 = 0,99$
—x—	LVd	$Y = 4,25 + 0,003X^{**}$	$R^2 = 0,97$

FIGURA 1. Efeito das doses de silicato (Wollastonita) sobre o pH de 4 tipos de solos (sem Balaço de Ca e Mg).

4.2 Si em ácido acético

Na comparação das fontes a escória de alto-forno da CSN foi a que apresentou maior teor de Si extraído pelo ácido acético diferindo na média das demais fontes exceto da Acesita no experimento sem balanço de Ca e Mg (Tabelas 8 e 9). Nota-se que nos tratamentos da Acesita em ambos os experimentos apresentaram teores bem próximos de Si entre si, devido a estes tratamentos serem muito parecidos uma vez que o que os difere é o Mg aplicado no experimento com balanço deste elemento. Novamente observa-se um maior teor de Si no experimento com balanço de Ca e Mg devido ao maior efeito do pH nestes solos. Ao avaliar as fontes verifica-se que é difícil isolar o Si liberado pelo aumento do pH e o Si realmente liberado pela fonte devido à variação nas doses de cada fonte e seu PN.

TABELA 8. Resultados de silício nos solos com balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Testemunha	49c	11f	51d	28cd	35d
Wollastonita	111abc	40def	72b	44bcd	67c
Silifertil AF	137a	70bcd	71bcd	60ab	85bc
Silifertil LD	117ab	78bcd	82ab	45bcd	81bc
Rhodia	129a	81bc	69bcd	42bcd	80bc
MB-4	52bc	16ef	52cd	26d	36d
CSN AF	172a	142a	93a	81a	122a
CSN LD	139a	81bc	73ab	44bcd	84bc
Acesita	113abc	80bcd	72bc	43bcd	77bc
Belgo	137a	102ab	73ab	64ab	94b
Siderme	107abc	78bcd	72b	44bcd	75bc
Recmix	119ab	81bc	77ab	50bc	82bc
Açominas	111abc	52cde	67bcd	44bcd	68c
C.V. (%)	24	23	11	20	22
Valor de F	6**	18**	8**	10**	28**
D.M.S. 5%	68	41	20	23	20

** F significativo a 1%

De forma geral o aumento do pH parece aumentar a liberação de Si pelas fontes, a hipótese mais provável para este fato é a alteração no equilíbrio entre o monossilicato e os polissilicatos do solo no pH mais elevado, mas a hipótese das fontes ter maior solubilização em pH mais elevado também não pode ser descartada. Mesmo assim pode-se observar que a fonte que menos liberou Si foi a MB-4. Um outro problema observado foi o Si liberado da própria fonte pelo ácido acético, já vem demonstrando que as escórias de alto-forno não são muito eficientes no fornecimento de Si para as plantas, mas apresentam alta concentração deste elemento e apresentam uma certa solubilidade em ácidos fracos. Este

fato pode ser observado com a escória da CSN, isto trás mais uma preocupação, a de que outros métodos de análise de solo devem ser testados.

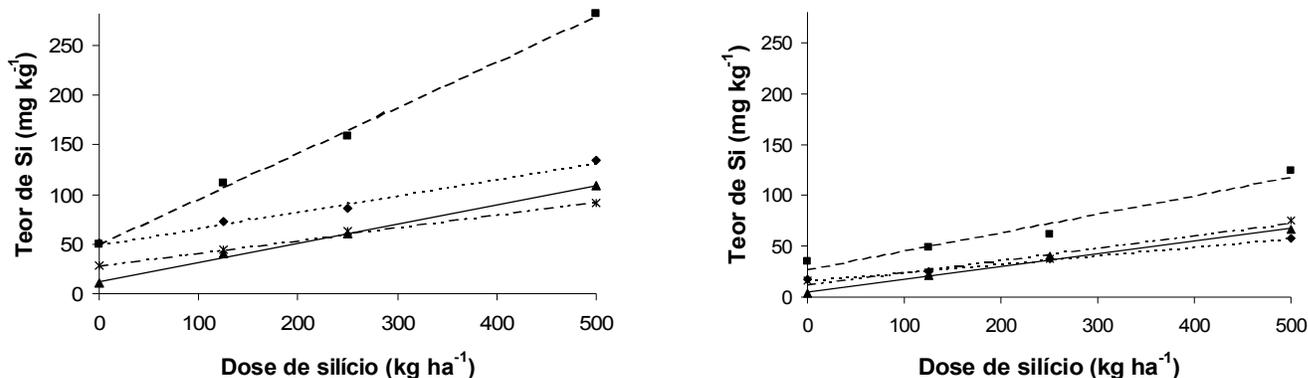
TABELA 9. Resultados de silício nos solos sem balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Testemunha	35f	3e	18e	17e	18g
Wollastonita	49ef	21de	25de	24de	30f
Silifertil LD	76cd	52ab	36bcd	47abc	53de
Rhodia	50ef	25cde	27cde	23de	31f
MB-4	46ef	5e	19e	18e	22fg
CSN AF	128a	68a	39abc	64ab	75a
CSN LD	112ab	56ab	46ab	45bc	65bc
Acesita	121a	57ab	50a	65a	73ab
Belgo	78cd	58ab	42ab	44c	56cd
Siderme	85c	52ab	46ab	55abc	59cd
Recmix	118a	52ab	35bcd	38cd	61cd
Açominas	92bc	45abc	42ab	46abc	56cd
C.V. (%)	10	23	15	19	16
Valor de F	57**	19**	16**	18**	91**
D.M.S. 5%	21	24	13	19	9,3

** F significativo a 1%

Quanto ao Si em ácido acético 0,5M a aplicação da Wollastonita promoveu aumentos lineares nos teores de Si em todos os solos e nos dois experimentos (Figura 2). Verifica-se que no experimento com o balanço de Ca e Mg, os teores de Si são mais elevados que os teores no experimento sem o balanço. Isto se deve a maior elevação do pH que ocorreu neste experimento devido à ação do carbonato de cálcio e magnésio associado. A elevação do pH provavelmente promove a liberação do Si adsorvido nos colóides do solo e solubilização de polisilicatos (formas não disponíveis). Quanto maior pH do solo maior a

transformação de polímeros em monômeros, isto é, maior é a transformação do ácido polissilícico (insolúvel) em ácido monossilícico (solúvel). Também se observa uma maior disponibilidade de Si proveniente da Wollastonita quando houve balanceamento do Ca e Mg. Esta maior disponibilidade se deve ao efeito conjunto do pH e da fonte de Si, isto é, a Wollastonita além de ser um excelente corretivo de acidez também é uma excelente fonte de Si. O teor de Si nos solos com e sem o balanço de Ca e Mg são próximos nos tratamentos testemunhas, mas vão se distanciando conforme se aumenta às doses da Wollastonita (Figura 2). No Neossolo Quartzarênico onde a elevação do pH foi maior em relação aos demais solos, pode-se observar uma maior inclinação da reta (Figura 2), isto se deve também ao menor poder tampão deste solo em relação aos demais.



	Com Ca + Mg		Sem Ca + Mg	
--- ■ ---	LVAd	$Y = 49,3 + 0,46X^{**}$ $R^2 = 0,99$	$Y = 28,0 + 0,18X^{**}$ $R^2 = 0,95$	
— ▲ —	RQo	$Y = 12,7 + 0,19X^{**}$ $R^2 = 0,99$	$Y = 5,0 + 0,13X^{**}$ $R^2 = 0,99$	
--- ◆ ---	LVdf	$Y = 49,7 + 0,16X^{**}$ $R^2 = 0,99$	$Y = 16,6 + 0,08X^{**}$ $R^2 = 0,99$	
--- x ---	LVd	$Y = 28,7 + 0,13X^{**}$ $R^2 = 0,99$	$Y = 12,4 + 0,12X^{**}$ $R^2 = 0,97$	

FIGURA 2. Regressões entre teor de Si do solo e Si fornecido pelas doses de Wollastonita.

4.3 Si em água

Através da análise de Si em água é possível determinar quanto de silício que a fonte possui e que realmente está disponível para a solução do solo. Com isso, a identificação de qual fonte que será aplicada e que, prontamente, disponibilizará silício às plantas torna-se mais fácil. No experimento com balanceamento de Ca e Mg, como era de se esperar, a testemunha foi aquela com menor quantidade de silício na média dos quatro solos, juntamente com os tratamentos Silifertil AF, MB-4, CSN AF e Açominas. As fontes que apresentaram maior teor de silício extraível em água foram Silifertil LD, CSN LD, Acesita, Belgo LD, Recmix e Belgo siderme (Tabela 10).

TABELA 10. Resultados de Si em água nos solos com balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
Testemunha	4,7e	1,8d	5,8e	3,0b	3,8f
Wollastonita	11,4c	3,2bcd	9,9ab	5,4a	7,5cd
Silifertil AF	11,4c	1,6d	7,7cde	4,4ab	6,3e
Silifertil LD	15,3a	4,7a	9,0bc	5,6a	8,6ab
Rodhia	13,8ab	3,1bcd	8,9bc	5,2a	7,7bc
MB-4	12,2bc	2,9bcd	6,7de	4,2ab	6,5ce
CSN AF	12,4bc	2,1cd	6,6de	4,4ab	6,4e
CSN LD	15,4a	4,7ab	11,2a	4,4ab	8,9ab
Acesita	15,4a	5,8a	8,9bc	5,8a	9,0ab
Belgo LD	14,6a	4,6ab	8,2bcd	5,9a	8,3abc
Belgo (Siderme)	13,8ab	5,8a	7,5cde	5,6a	8,2abc
Bermix	14,9a	3,9abc	9,3abc	5,4a	8,4abc
Açominas LD	7,1d	2,4cd	9,1bc	5,6a	6,0e
C.V. (%)					11,74
Valor de F					47,50**

D.M.S. 5%	----- 2,04 -----	1,24
-----------	------------------	------

F significativo a 5%; *

No experimento sem balanceamento de Ca e Mg, a Wollastonita foi o tratamento que apresentou maior teor, na média dos quatro solos, sendo que os teores de Si encontrado no experimento sem Ca e Mg, são mais altos do que no experimento com balanceamento de Ca e Mg (Tabela 11).

TABELA 11. Resultado de Si em água nos solos sem balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
Testemunha	10,6ef	1,7c	7,0d	3,3c	5,6f
Wollastonita	30,5a	6,9cd	16,9a	4,5bc	14,7a
Silifertil AF	14,3cd	3,9e	9,2bcd	4,4bc	7,9de
Silifertil LD	17,0b	9,1abcd	9,1bcd	6,1ab	10,3b
A e Wilson	14,0cd	6,8d	8,6bcd	4,3bc	8,4cd
MB-4	10,2f	2,0e	7,9cd	2,9c	5,7f
CSN LD	13,7de	9,5abcd	9,8bc	5,3abc	9,6bc
CSN AF	12,7de	1,9e	7,6cd	4,7bc	6,7ef
Acesita	14,9bcd	9,3abcd	8,9bcd	7,4a	10,1b
Belgo LD	16,4bcd	8,1abcd	8,8bcd	5,3abc	9,6bc
Belgo (Siderme)	16,4bcd	10,5a	10,8b	5,1abc	10,7b
Bermix	14,4cd	8,5abcd	9,3bcd	6,0ab	9,5bc
Açominas LD	14,6bcd	7,1bcd	8,9bcd	4,3bc	8,7cd
C.V. (%)					11,5
Valor de F					84**
D.M.S. 5%	----- 2,46 -----				1,23

**Significativo a 5%

As fontes de origem de alto forno, como Silifertil AF e CSN AF, apesar de terem altos teores de Si, ele não está na forma solúvel, ou seja, ácido monossilícico.

A análise de silício em água, apesar de apresentar teores menores de Si que os teores encontrados na análise em ácido acético, é mais confiável porque não superestima a quantidade de Si presente na fonte. Uma maior disponibilidade de Si proveniente da Wollastonita também não foi observada quando houve balanceamento do Ca e Mg. Essa maior disponibilidade se deve ao efeito conjunto do pH e da fonte de Si, isto é, a Wollastonita além de ser um excelente corretivo de acidez, também, é uma excelente fonte de Si. Os teores de Si nos solos com e sem o balanço de Ca e Mg são próximos nos tratamentos testemunhas, se diferenciaram conforme se aumentou às doses da Wollastonita (Figura 3). No Neossolo Quartzarênico onde a elevação do pH foi maior em relação aos demais solos, pode-se observar uma maior inclinação da reta (Figura 3). Isso é devido também ao menor poder tampão desse solo em relação aos demais.

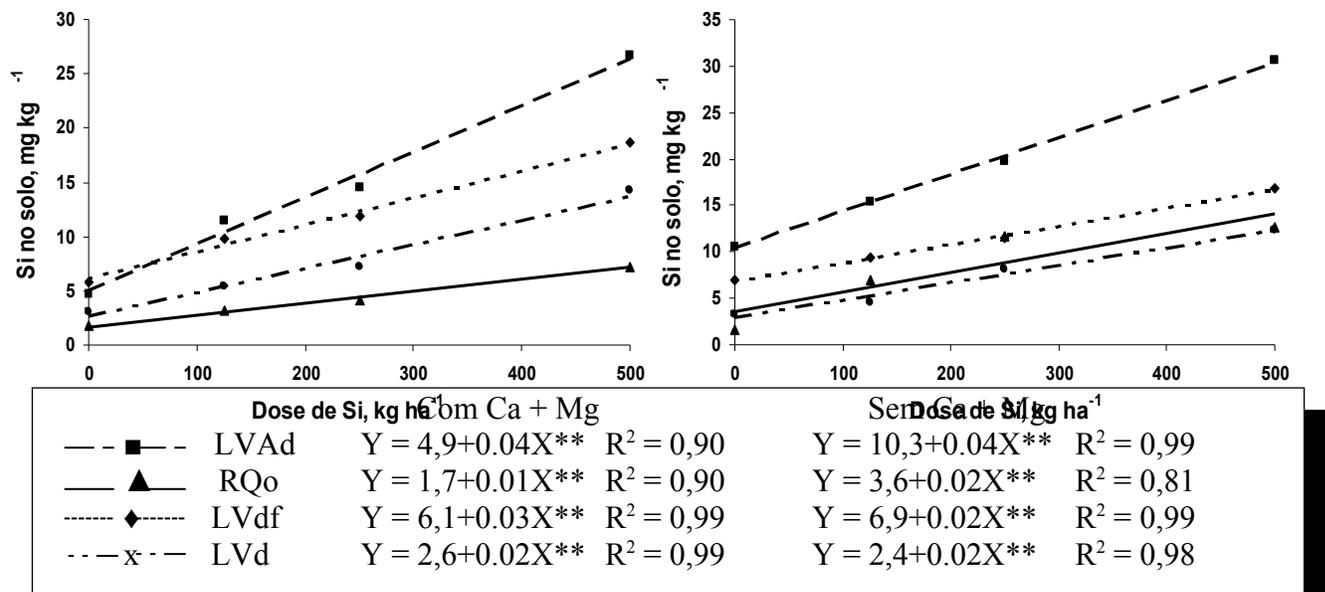


FIGURA 3. Doses de Si e o efeito sobre os teores de Si em água nos solos.

4.4 Ca no solo

Como pode ser observado pela Tabela 12 a escória da CSN LD foi a que liberou menos Ca no experimento com o balanço deste elemento, diferindo estatisticamente da testemunha, seguido pela CSN de alto-forno, Belgo, Recmix e Açominas que também diferiram na média dos quatro solos. Quando não houve o balanço de Ca e Mg, a fonte com maior liberação de Ca foi a Acesita que diferiu das demais na média dos solos, seguida pela Açominas, Silifertil LD e CSN LD que foram também as fontes com as maiores doses de Ca (Tabela 13).

TABELA 12. Resultados do Ca nos solos com balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
Testemunha	3,9a	2,3abcd	4,0ab	3,6a	3,4ab
Wollastonita	3,7ab	2,1cdef	4,0a	3,5a	3,3abc
Silifertil AF	3,2ab	2,1cdef	3,9ab	3,4a	3,2abcd
Silifertil LD	3,3ab	2,7ab	3,4abc	3,0a	3,1abcde
Rhodia	3,4ab	2,2bcde	3,4abc	3,7a	3,2abcd
MB-4	3,4ab	2,5abc	3,7abc	3,6a	3,3abc
CSN AF	3,0ab	2,2bcde	3,1bc	2,9a	2,8de
CSN LD	2,8b	1,7f	2,9c	3,4a	2,7e
Acesita	3,1ab	2,1cdef	3,7abc	3,8a	3,1abcd
Belgo	3,1ab	1,8ef	3,5abc	3,6a	3,0cde
Siderme	3,6ab	2,7a	3,9ab	3,7a	3,5a
Recmix	3,1ab	1,8def	3,5abc	3,4a	3,0cde
Açominas	3,2ab	2,3bcde	3,3abc	3,4a	3,0bcde
C.V. (%)	11,7	8,9	10,1	11,7	11,1

Valor de F	2,4*	10,4**	3,5**	1,6ns	172,6**
D.M.S. 5%	1,0	0,5	0,9	1,0	0,41

** F significativo a 1%

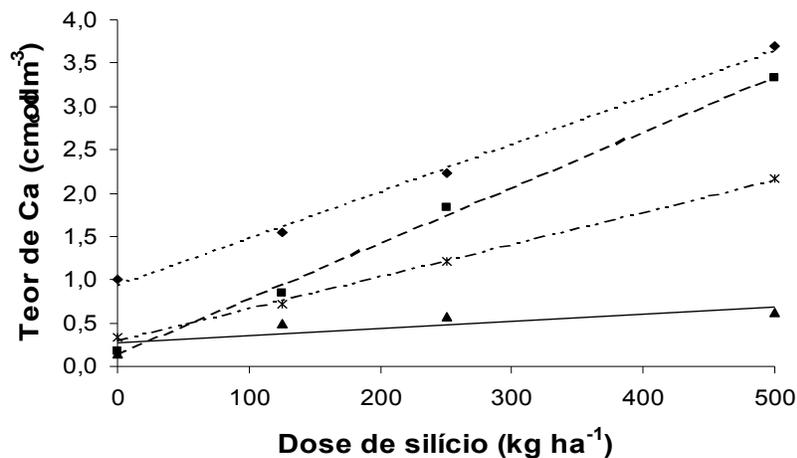
TABELA 13. Resultados do Ca nos solos sem balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	cmol _c dm ⁻³				
Testemunha	0,2f	0,1g	1,0g	0,3h	0,4h
Wollastonita	0,8ef	0,5e	1,6fg	0,7ef	0,9fg
Silifertil AF	0,7f	0,3f	1,6efg	0,6efg	0,8fg
Silifertil LD	2,5bc	1,0b	3,1bc	2,0b	2,2bc
Rhodia	1,1def	0,5e	2,0def	0,8e	1,1f
MB-4	0,3f	0,2fg	1,4fg	0,4gh	0,6gh
CSN AF	0,7f	0,2fg	1,4fg	0,5fgh	0,7gh
CSN LD	2,7bc	0,8c	3,1bc	1,6c	2,0cd
Acesita	4,6a	1,1a	4,8a	3,0a	3,4a
Belgo	2,2bc	0,8c	3,2bc	1,4cd	1,9cde
Siderme	2,1bcd	0,8c	2,6cd	1,5c	1,7de
Recmix	1,9cde	0,6d	2,5cde	1,1d	1,5e
Açominas	3,1b	1,1ab	3,7b	2,1b	2,5b
C.V. (%)	25,8	6,9	14,7	9,6	19,6
Valor de F	32,2**	256,8**	35,8**	179,3**	136,5**
D.M.S. 5%	1,1	0,1	0,9	0,3	0,35

** F significativo a 1%

Assim como no pH não houve variação significativa com o aumento das doses de Wollastonita nos teores de Ca do experimento onde este elemento foi balanceado. Já no experimento sem o balanço de Ca, este elemento apresentou aumentos lineares em todos os solos sendo que a maior elevação ocorreu no Latossolo Vermelho Escuro e a menor no Neossolo Quartzarênico. O poder tampão destes solos influenciou no comportamento dos carbonatos e das fontes de Si na correção do solo, isso foi devido a acidez potencial dos solos, pois o Neossolo Quartzarênico tem uma acidez potencial menor e portanto menos

silicato solubilizado, o que não acontece com o solo Latossolo Vermelho Amarelo que tem maior acidez potencial e libera mais Ca (Figura 4).



—■—	LVAd	$Y = 0,14 + 0,006X^{**}$	$R^2 = 0,99$
—▲—	RQo	$Y = 0,27 + 0,001X^*$	$R^2 = 0,68$
—◆—	LVdf	$Y = 0,93 + 0,005X^{**}$	$R^2 = 0,99$
—x—	LVd	$Y = 0,30 + 0,004X^{**}$	$R^2 = 0,99$

FIGURA 4. Doses de Si aplicada e o efeito sobre os teores de Ca nos solos.

4.5 Mg no solo

O Mg não apresentou variações significativas com as doses da Wollastonita, devido à baixa concentração deste elemento. Já entre as fontes houve grandes variações mesmo no experimento com o balanço deste elemento (Tabela 14). Na média dos quatro solos, as fontes com maior liberação de Mg foram também as com as maiores doses de carbonato que são a Wollastonita, a testemunha, a Silifetil de alto-forno e a Rhodia. As fontes que menos liberaram Mg foram a CSN LD, Acesita e Silifertil LD que também foram às fontes que menos receberam carbonato de Mg. Isso indica uma menor liberação de Mg das fontes

em comparação ao carbonato cuja eficiência também deve ser avaliada. A Siderme que não recebeu carbonato de magnésio apresentou uma liberação bastante elevada nos dois experimentos, demonstrando que essa fonte apresenta esse elemento numa forma mais solúvel (Tabela 15).

TABELA 14. Resultados do Mg nos solos com balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
Testemunha	0,77a	0,34de	3,34ab	0,67ab	1,28ab
Wollastonita	0,81a	0,27fg	3,45a	0,71a	1,31a
Silifertil AF	0,71abcd	0,38cd	3,28abc	0,60bc	1,24ab
Silifertil LD	0,35e	0,11h	1,97f	0,30f	0,68f
Rhodia	0,77a	0,27ef	3,04bcd	0,73a	1,20abc
MB-4	0,64bcd	0,22fg	2,75de	0,53de	1,03de
CSN AF	0,76ab	0,23fg	2,86de	0,68a	1,13cd
CSN LD	0,30e	0,10h	1,83f	0,30f	0,63f
Acesita	0,34e	0,09h	1,82f	0,30f	0,64f
Belgo	0,62d	0,41bc	2,69de	0,48e	1,05de
Siderme	0,71abcd	0,46b	2,87de	0,47e	1,12cd
Recmix	0,75abc	0,54a	2,90cde	0,58cd	1,19bc
Açominas	0,62cd	0,20g	2,63e	0,50e	0,99e
C.V. (%)	8,47	9,91	5,95	5,63	8,44
Valor de F	45,33**	105,25**	45,43**	108,62**	120,13**
D.M.S. 5%	0,13	0,07	0,40	0,07	0,11

** F significativo a 1%

TABELA 15. Resultados do Mg nos solos sem balanceamento de Ca e Mg.

Tratamentos	Solos				Média
	LVAd	RQo	LVdf	LVd	
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
Testemunha	0,11d	0,06fg	0,51e	0,08def	0,19de
Wollastonita	0,13d	0,06fg	0,46e	0,09def	0,18e
Silifertil AF	0,26d	0,11cd	0,72cd	0,21c	0,32c
Silifertil LD	0,23d	0,03hi	0,64cde	0,17cde	0,26cde
Rhodia	0,13d	0,06fg	0,55de	0,05ef	0,20de
MB-4	0,26d	0,07fg	0,73cd	0,06ef	0,28cd
CSN AF	0,20d	0,07ef	0,58cde	0,05f	0,22de
CSN LD	0,57bc	0,14b	0,99b	0,34b	0,51b
Acesita	0,26d	0,02i	0,74c	0,07ef	0,27cd
Belgo	0,60bc	0,09de	1,09b	0,13cdef	0,48b
Siderme	1,40a	0,24a	2,01a	1,32a	1,24a
Recmix	0,61b	0,12c	1,04b	0,20cd	0,49b
Açominas	0,32cd	0,05gh	0,70cd	0,20cd	0,32c
C.V. (%)	29,96	11,22	8,78	21,02	19,06
Valor de F	36,37**	147,89**	125,07**	202,74**	241,15**
D.M.S. 5%	0,29	0,02	0,18	0,12	0,09

F significativo a 5%; ** F significativo a 1%

5.CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode se concluir que:

--No experimento, com o balanceamento de Ca e Mg o teor de Si encontrado pelo método do ácido acético foi maior, quando comparado com o experimento sem balanceamento de Ca e Mg.

--Existem grupos de fontes mais solúveis que outros.

--A água extrai uma menor quantidade de Si do que o ácido acético, mas é portanto, mais confiável.

O ácido acético superestima o Si de certas fontes, principalmente quando foi usado o carbonato de cálcio no experimento com balanceamento de Ca.

--As fontes originadas de Alto Forno possuem alto teor de Si, porém, baixa disponibilidade em água.

--A fonte Belgo Siderme apresentou teores Si, Mg e Ca na forma mais solúvel.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C. 1992. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas.** São Paulo: ANDA. 1992. (Boletim Técnico, 6).

AMARAL SOBRINHO, N.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C.; COSTA,L.M. 1995. **Riscos de contaminação por metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 25, 1995. Resumos Expandidos... campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 2321-2322.

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

COELHO, P.E. 1998. **Da escória ao vidro.** Revista Limpeza Pública, no. 49, dez. p. 36-45.

FREIRE, F. M., NOVAIS, R. F., SOARES, P. C., COSTA, L. M., FARIA, E. A. **Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado.** Ceres, Belo Horizonte. v.32, n.170, p.162-169. 1985.

IMAIZUMI, K. & YOSHIDA, S. 1958. **Edaphology studies on slicon supplying power of paddy soils.** Bull Nat. Inst. Agric. Sci. (Japan) B8:261-304.

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

KORNDÖRFER, G.H., PEREIRA, H. S. & CAMARGO, M. S. 2002. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**: Uberlândia: Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura”. 2002. 23p. (GPSi- ICIAG-UFU.Boletim Técnico, 01)

MEDINA-GONZALES, O.A., R.L. FOX, AND R. P.BOSSHART. 1988. **Solubility and availability to sugarcane (*Saccharum spp.*) of two silicate materials**. Fert. Res. 16:3-13.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; LEITE, F.P.; TEIXEIRA, J.L.; LEAL, P.G.L. 1993. **Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica Pains**. UFV, Viçosa.

OKUDA, A. AND E. TAKAHASHI, 1964. **The role of silicon: *in* The mineral nutrition of the rice plant**, Proc., Symp. Intern. Rice Res. Inst., Feb., 1964., John Hopkins Press, Baltimore, MD, pp.123-146.

OLIVEIRA, A.C.; HAHNE, H.; BARROS, N.F.; MORAIS, E.J. 1994. **Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal**. Seminário sobre uso de resíduos florestais e urbanos em florestas. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p. 77-96.

PIAU, W.C. 1991. **Viabilidade do uso de escórias como corretivo e fertilizantes.** Piracicaba: USP, 1991. 99 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RAIJ, B. VAN; O. A. CAMARGO. 1973. **Sílica solúvel em solos.** Baragantia 32:223-236.

SILVA, J.A. **Plant mineral nutrition. Yearbook of Science and tecnologia.** McGraw - Hill Book Co, Inc. 1973.

SNYDER, G. H., D. B. JONES,; G. J. GASCHO. 1986. **Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols.** Solo Sci. Soc. Am. J. 50:1259-1263.

SOIL AND RICE. **International Rice Research Institute.** Los Banos, Phillippines. 825p. 1978.

VON KLUGER, P. 1989. **Utilização de escória de aciaria LD para agricultura - uma visão geral.** I Seminário Nacional de Aproveitamento de Descartes de Resíduos da Indústria. Salvador.

