

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EXTRATORES DE SILÍCIO E ENXOFRE DISPONÍVEIS NO SOLO

ERONI TOLEDO PEREIRA

Engenheiro Agrônomo

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

DEZEMBRO DE 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EXTRATORES DE SILÍCIO E ENXOFRE DISPONÍVEIS NO SOLO

ERONI TOLEDO PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
Co-orientador: Prof.Dr. Edésio Fialho dos Reis

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL
DEZEMBRO DE 2010

ERONI TOLEDO PEREIRA

EXTRATORES DE SILÍCIO E ENXOFRE DISPONÍVEIS NO SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

Aprovada em: 15/12/2010

**Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
Co-orientador: Prof.Dr. Edésio Fialho dos Reis**

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

DEZEMBRO DE 2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

P436e Pereira, Eroni Toledo.
Extratores de silício e enxofre disponíveis no solo
[manuscrito] / Eroni Toledo Pereira. - 2010.
xv, 51 f. : figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira; Co-orientador:
Prof. Dr. Edésio Fialho dos Reis.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás
Câmpus Jataí, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2010.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

Apêndices.

1. Análise de solo – Métodos. 2. Silicato. 3. Oryza Sativa I.
Título.

CDU: 633.18:546.28

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência.

A Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Jataí, pela oportunidade do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Hamilton Seron Pereira, pela dedicação, compreensão, paciência e orientação desta dissertação.

Ao Professor Dr. Edésio Fialho dos Reis pelas importantes colaborações como co-orientador.

Ao Professor Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro por fazer com que todos assumam verdadeiramente seu papel dentro da instituição.

Aos professores que fizeram parte da minha qualificação: Professor Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho, Professor Dr. Edicarlos Damacena de Souza, por suas sugestões e engrandecimento nas discussões desta dissertação.

Aos demais Professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFG, Campus Jataí.

Aos acadêmicos do curso de Agronomia: Eloene Rodrigues Godoy, Everton Arruda e Elias Brod pelas contribuições e instalação do projeto.

Ao Marcos Humberto Silva de Assis, pelo auxílio nas realizações de análises laboratoriais.

Aos meus colegas de Pós-graduação, em especial: Newton Cabral Barbosa e Cleidson Marciano pelas contribuições acadêmicas.

Ao Amilton Fernando de Oliveira Filho pela contribuição na instalação do projeto.

Aos meus pais: Acácio Marques Pereira e Ambelina Toledo Pereira pelo carinho e sabedoria.

Aos meus irmãos: Odilon, Amilton e Onildo pelas palavras de incentivo.

Ao Sr Adelino e Oneida pelas palavras de incentivo.

A minha esposa Rilma e meu filho Victor Toledo pela compreensão da minha ausência em muitos momentos dedicados aos estudos.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ERONI TOLEDO PEREIRA, filho de Acácio Marques Pereira e Ambelina Toledo Pereira, nasceu em Alegrete (RS), em 07 de junho de 1967. Conclui o 1º grau na Escola Estadual Dr. Lauro Dorneles, na cidade de Alegrete (RS) em 1982 e o 2º grau na Escola Agrotécnica Federal de Alegrete (RS) em 1984.

Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e graduou-se em Ciências Agrícolas em 1989. Em 2005 ingressou na Universidade Veiga Almeida (RJ) pós graduando em Gestão em Marketing.

Em 2006 ingressou na Universidade Norte do Paraná onde graduou-se em Tecnólogo em Gestão em Marketing. Em 2007 pós graduou-se em Manejo de doenças em plantas pela Universidade Federal de Lavras (MG).

Em 2007 pós graduou-se em Gestão de Recursos Humanos, pelo Centro Ensino Superior de Jataí (GO).

Em 2008 conclui o MBA em Executivo em Negócios pela Universidade Norte do Paraná.

Em 2010 conclui o Mestrado em Agronomia, área de Concentração Produção Vegetal pela Universidade Federal Goiás. Em 2010 Ingressou na Universidade Anhanguera onde esta pós graduando em Direito do trabalho. Atualmente curso o 4º ano do curso de Direito.

SUMÁRIO

<u>LISTA DE TABELAS.....</u>	<u>8</u>
<u>LISTA DE FIGURAS.....</u>	<u>9</u>
<u>RESUMO.....</u>	<u>10</u>
<u>ABSTRACT.....</u>	<u>11</u>
<u>1. INTRODUÇÃO.....</u>	<u>12</u>
<u>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</u>	<u>14</u>
<u>2.1 Silício no sistema solo-planta.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2 Fontes de silício.....</u>	<u>17</u>
<u>2.3 Métodos de determinação.....</u>	<u>18</u>
<u>2.4 Enxofre no sistema solo-planta.....</u>	<u>20</u>
<u>2.5 Fontes de silício e métodos de determinação.....</u>	<u>21</u>
<u>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	<u>24</u>
<u>3.1 Implantação e condução do experimento.....</u>	<u>24</u>
<u>3.2 Coleta das amostras.....</u>	<u>25</u>
<u>3.3 Análises laboratoriais.....</u>	<u>26</u>
<u>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	<u>28</u>
<u>4.1 Produção de matéria seca de plantas de arroz.....</u>	<u>28</u>
<u>4.2 Silício e enxofre nas plantas de arroz.....</u>	<u>29</u>
<u>4.3 Silício e enxofre no solo.....</u>	<u>33</u>
<u>CONCLUSÕES.....</u>	<u>46</u>
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>47</u>
<u>ANEXOS.....</u>	<u>52</u>

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Respostas de culturas brasileiras ao enxofre.....	20
TABELA 2	Identificação, classe e procedencia de solos estudados.....	23
TABELA 3	Caracterização física e química dos solos estudados.....	23
TABELA 4	Características químicas das fontes de Si segundo o fabricante e quantidades aplicadas nos tratamentos	24
TABELA 5	Matéria seca da parte aérea das plantas de arroz utilizando diferentes fontes de Si em 4 tipos de solo.....	28
TABELA 6	Teor foliar de Si na parte aérea das plantas de arroz	29
TABELA 7	Si acumulado na parte aérea das plantas de arroz cultivada nos 4 tipos de solos estudados	30
TABELA 8	Teor foliar de Enxofre nas plantas de arroz	31
TABELA 9	Enxofre acumulado na parte aérea das plantas de arroz	32
TABELA 10	Concentração de silício no solo recuperado pelos diferentes extratores	36
TABELA 11	Concentração de enxofre no solo recuperado pelos diferentes extratores	39

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Correlação entre a concentração do Si recuperado no solo pelos diferentes extratores com o Si extraído pela parte aérea da cultura do arroz (mg kg^{-1}).....	43
FIGURA 2	Correlação entre a concentração de enxofre recuperado no solo pelos diferentes extratores com o enxofre extraído pela parte aérea da cultura do arroz (mg kg^{-1}):.....	45

RESUMO

PEREIRA. Eroni Toledo. **Extratores de silício e enxofre disponíveis no solo.** 2010. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, produção vegetal). Universidade Federal de Goiás. Campus Jataí.

O crescimento vegetal pode ser influenciado por diversos fatores genéticos e ambientais, sendo estes um conjunto de condições que direta ou indiretamente afetam o seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. O presente estudo teve como objetivo geral avaliar extratores de Silício (Si) e Enxofre (S) disponíveis em solos através de correlações entre Si e S na matéria seca das plantas de arroz. A realização do experimento aconteceu no período de setembro a janeiro de 2008 em casa-de-vegetação no Campus Jatobá da Universidade Federal de Goiás em Jataí, com a cultura do arroz. Foram utilizados vasos contendo 5 kg do horizonte B de 4 tipos de solos de cerrado: Cambissolo Háplico Tb distrófico; Neossolo Quartzarenico ortico; Latossolo Vermelho acriférrico; Latossolo Vermelho distroférico. O delineamento experimental foi em esquema fatorial inteiramente casualizado (9 X 4 X 8) com quatro repetições sendo, 8 fontes de silício mais uma testemunha, 4 solos e 8 extratores de silício e enxofre no solo. Nas condições de realização do experimento pode-se concluir que a acesita I AF foi a fonte menos eficiente no fornecimento de silício e enxofre para a cultura do arroz. A sílica gel foi o tratamento com maior teor foliar de silício na parte aérea de arroz. A associação em acetato de amônia e ácido acético apresentou-se promissora na determinação do Si, até o momento é possível desenvolver um método usando o mesmo extrator para o silício e enxofre.

Termos para indexação: Análise de solo, métodos de análises, silicato, *oryza Sativa*.

ABSTRACT

PEREIRA, Eroni Toledo. **Extractors of available silicon and sulfur in soils of the cerrado**. 2010. 50F. Dissertation (MSc in agronomy, crop production). Federal University of Goiás Campus Jataí.

Plant growth can be influenced by several factors, genetic and environmental, are these a set of conditions that directly or indirectly affect their growth, development and productivity. This study aimed to evaluate extractors Silicon (Si) and Sulfur (S) available in soil by correlation between Si and S in the field plant dry rice. The completion of the experiment was carried out between September-January 2008 in a green house on the campus Jatoba Federal University of Goias Jataí, with rice cultivation. We used pots containing 5 kg of the B horizon of four types of soils cerrado: Dystrophic Haplic Cambisol; Entisol; Oxisol Acrustox; Oxisol. The experimental scheme was completely randomized factorial (9 X 4 X 8) with four replicates was, 8 sources of silicon a control, 4 and 8 soil extractors of silicon and sulfur in the soil. Under the conditions of the experiment we can conclude that the AF Acesita I was less efficient in supply supply of silicon and sulfur to rice cultivation. Silica gel was treated with foliar silicon in the shoots of rice. Membership in acid and ammonium acetate acetic showed some promise in the determination of Si, so far you can develop a method using the same extractor for silicon and sulfur.

Index terms: Analysis of soil, analysis methods, silicate, *Oryza sativa*.

1. INTRODUÇÃO

O silício tem sido estudado e utilizado em várias partes do mundo pelo homem para fertilizar plantas e solos com a intenção de aumentar a produtividade das culturas e aumentar a resistência das plantas ao ataque de doenças e pragas.

O papel do silício na proteção das culturas devido a esses ataques tem sido alvo de estudo de diversos pesquisadores do mundo inteiro assim como as vantagens do uso do silício nas folhas e na aplicação radicular das plantas.

Trabalhos científicos desenvolvidos ao longo dos anos comprovaram que o silício é um micronutriente fundamental no manejo nutricional e fitossanitário da agricultura, que deve ser sustentável tanto do ponto de vista social, econômico e principalmente ambiental. Devido a sua importância para a agricultura brasileira, o silício foi regulamentado pelo Decreto nº 4954 de 2004, que considera o silício um micronutriente benéfico, e atualizado através da Instrução Normativa nº 5, de fevereiro de 2007.

Dentre as principais fontes de silício para aplicação no solo há as escórias siderúrgicas, que são considerados resíduos das indústrias siderúrgicas. O Brasil é o sexto maior produtor mundial de ferro-gusa (produzido nas siderúrgicas), atingindo cerca de 25 milhões de toneladas por ano, o que corresponde à geração anual de cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória. O uso de escórias em solos ácidos é recomendável, já que o cálcio existente é bastante solúvel, elevando, assim, em pouco tempo, seu Ph.

O enxofre (S) é um dos macronutrientes de menor expressão nos estudos de fertilidade de solos, provavelmente, devido a não valorização do nutriente nas fórmulas utilizadas em manejo de adubação. Os elementos que são privilegiados nas formulações são o nitrogênio, o fósforo e o potássio (NPK).

A extração de S do solo pelas plantas pode variar em função da espécie. Na cultura do arroz a extração de enxofre acumula em média 13 kg ha⁻¹ considerando uma produtividade de 7,8 ton ha⁻¹.

De uma maneira geral, existem poucos estudos sobre a resposta das plantas ao enxofre (S). O cultivo intensivo de solos com baixo teor de matéria orgânica e de argila, o uso de fertilizantes concentrados e a contínua exportação de S sem reposição podem levar à diminuição da disponibilidade de S às plantas,

possibilitando a deficiência de S e a diminuição do rendimento das culturas.

A maioria dos solos contém consideráveis quantidades de silício e enxofre, mas os cultivos consecutivos podem diminuir a concentração destes elementos até o ponto em que a aplicação de silício e enxofre possam ter contribuição na obtenção de mais elevadas produções das plantas. Os solos de clima tropical, de um modo geral, têm baixa disponibilidade desses elementos e devem responder à aplicação de silicato.

Em outros países o silício e o enxofre são largamente explorados, devido ao poucos estudos no Brasil, surge à necessidade da realização de pesquisas que avaliem a eficiência de utilização de fertilizantes contendo enxofre e silício, a distribuição desses elementos no sistema solo-planta-ambiente e, conseqüentemente, sua importância na produtividade agrícola.

Desta forma, faz-se necessário testar métodos eficientes de determinação. Para conhecer a necessidade de utilização de silício, enxofre e outros fatores relacionados aos status do silício e enxofre no solo, é também necessário, desenvolver métodos mais eficientes de extração. Neste sentido o trabalho foi desenvolvido no intuito de avaliar os melhores extratores de silício e enxofre disponíveis no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Silício no sistema solo-planta

O silício (Si) é um nutriente vegetal que não preenche todos os critérios a partir dos quais um elemento químico é considerado essencial para as plantas e, assim, é considerado um elemento benéfico ou útil às plantas (NOJOSA et al., 2006). O silício é encontrado na solução do solo e é absorvido pelas plantas como ácido silícico, transportado por meio do xilema e depositado como sílica amorfa ou também pode formar estruturas silicificadas, os fitólitos (RAVEN, 2001).

O Si constitui aproximadamente 28% da composição da crosta terrestre e é o elemento mais abundante, após o oxigênio (HEINEN & OEHLER, 1979). Da mesma forma, o óxido de silício (SiO_2) é o mineral primário mais farto nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilo-minerais; todavia, nos solos tropicais, altamente intemperizados, esses minerais contendo Si são quase inexistentes ou ocorrem na forma de quartzo, opala e outras formas nas quais o Si não é disponível às plantas (BARBOSA FILHO et al., 2001). Em alguns casos, esses solos apresentam teores menores que 2 mg kg^{-1} no extrato de saturação (FOX & SILVA, 1978).

Além do quartzo, as principais reservas de Si dos solos são os minerais aluminossilicatados, como feldspatos alcalinos e plagioclásio, que com o processo de intemperismo contribuem significativamente com o conteúdo de Al e K nos solos, além do próprio Si (EXLEY, 1998). O Si também é citado como um elemento regulador da disponibilidade de P no solo, já que ambos ocupam os mesmos sítios de adsorção nas superfícies de óxidos de Fe (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992). Provavelmente os elevados teores de P estão sendo disponibilizados em função da ocupação preferencial do Si nestes sítios de troca.

O silício é absorvido na forma de Si(OH)_4 , entretanto os mecanismos para sua absorção e translocação dentro da planta não são plenamente conhecidos e parecem variar entre as espécies vegetais. Devido a esta variação, e ao conteúdo de Si e da relação Si/Ca, na matéria seca, autores classificam as espécies vegetais em acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras (MARSCHNER, 1995).

Dentre as acumuladoras destacam-se espécies agrícolas como o arroz, a

cana-de-açúcar (KORNDÖRFER et al, 2002), espécies forrageiras da família Poaceae (*Phalaris* spp., *Brachiaria* spp.) (HARRISON, 1995; KORNDÖRFER et al., 2002), e não forrageiras como o bambu (*Phyllostachys bambusoides*, *P. Pubescens* e *Sasa veitchii*) (MOTOMURA et al., 2002), e também vegetais da família Equisetaceae (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995), além de organismos do reino Protista, como diatomáceas e esponjas, cujo conteúdo de sílica pode variar de 1 a 90% (HOLZHÜTER et al, 2005).

Um benefício proporcionado pelo silício a uma determinada cultura é a maior resistência ao acamamento (PULZ, 2007). A melhoria da arquitetura da planta pode possibilitar o adensamento promovendo incrementos na produtividade, como também pode evitar que as hastes toquem o solo e aumentar a aeração na cultura, diminuindo o potencial de ocorrência de doenças. Assim, o fornecimento de Si à cultura da batata, por exemplo, pode reduzir o uso de defensivos agrícolas, proporcionando a obtenção de produto de maior qualidade, além de gerar menor impacto ambiental nos sistemas de produção. O efeito da proteção mecânica do Si nas plantas é atribuído, principalmente, a sua deposição/acúmulo na parede celular na forma de sílica amorfa.

Outra hipótese relacionada com o controle de doenças seria a formação de fenóis favorecida pela absorção de Si, o que é mais aceito para plantas não gramíneas como a batata. Compostos fenólicos e alumínio acumulam-se nos sítios de infecção, cuja causa ainda não está esclarecida. O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e mobilidade destes na planta. Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra a infecção por patógenos, e a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência a doença em uma determinada cultura. (PULZ, 2007)

Ahmad (1987) propõe o emprego do silício como alternativa aos métodos tradicionais de recuperação dos solos afetados por sais, após demonstrar que a aplicação de 10 mol m^{-3} de NaCl, na ausência do silício, provocou uma redução de 46% na produção de massa seca em plantas de trigo (*Triticum aestivum*), enquanto que na presença de $0,3 \text{ mol m}^{-3}$ de SiO_2 , essa redução foi de apenas de 4%.

Em plantas de algaroba (*Prosopis juliflora*), observou-se aumento de 34% na assimilação de CO_2 (BRADBURY & AHMAD, 1990) e em cevada (*Hordeum vulgare*), de 29,3% (LIANG et al., 1996) em resposta à aplicação de silício. Estas alterações

na assimilação do carbono são importantes, pois sua incorporação à biomassa implica em maior demanda por nutrientes para implementar o crescimento das plantas.

Culturas importantes no contexto nacional podem se beneficiar com a fertilização silicatada, já que uma boa parte de nossos solos possui baixos níveis de silício disponível para as plantas, o qual se encontra na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) na solução do solo.

Pesquisas realizadas nos Estados Unidos e na China também mostram o potencial da aplicação do silício na cultura algodoeira (LIMA FILHO, 2005). Nestes trabalhos, a concentração de silício na fibra do algodão aumentou durante a fase de alongamento, alcançando um valor máximo na iniciação da parede secundária, sugerindo que o silício possa ter um papel na formação e no alongamento da fibra e, possivelmente, no desenvolvimento da parede secundária (LIMA FILHO, 2005).

As pesquisas também indicaram que a adubação com silício via solo pode promover crescimento mais rápido do algodão (EMBRAPA, 2005). Além disso, pode aumentar significativamente o número total de capulhos e ramos frutíferos, tamanho de capulhos e porcentagem de fibra.

O arroz e a cana-de-açúcar são culturas acumuladoras de silício, concentrando em seus tecidos teores mais elevados do que outros nutrientes. Por exemplo, estima-se que, em média, a cada 5 toneladas de grãos, a cultura do arroz remove de 500 a 1000 kg de sílica (dióxido de silício) por hectare. Em arroz, a suplementação com silício proporciona aumento na produção e na massa individual das sementes e diminuição da esterilidade (EMBRAPA, 2005).

Com o suprimento do silício a diferença no comprimento das lâminas foliares, principal responsável pela altura, tende a aumentar de acordo com o desenvolvimento da planta. A maior expansão foliar determina maior taxa de assimilação de gás carbônico por planta. Com isso, há uma maior translocação de assimilados para a produção de grãos, aumentando a produtividade (AHMAD, 1987).

A cana-de-açúcar responde bastante à adubação silicatada. Ao aumentar o comprimento e o diâmetro dos colmos, e o número de perfilhos, a aplicação de silicato aumenta a produtividade. Trabalhos de pesquisa também têm mostrado aumentos no teor de açúcar em solos pobres em silício disponível (LIMA FILHO, 2005).

2.2 Fontes de silício

A aplicação de Si ao solo é uma prática que vem aumentando a cada dia, pois já se sabe que este elemento traz inúmeros benefícios para o desenvolvimento de algumas plantas, tais como: aumenta a tolerância ao ataque de doenças e pragas, diminui a transpiração, melhora a arquitetura da planta tornando as folhas mais eretas e, assim, melhorando a taxa fotossintética (DEREN, 1994).

Para suprir a necessidade de Si pelas plantas, os silicatos de cálcio e magnésio representam as fontes mais promissoras para uso na agricultura. Esses silicatos são subprodutos da indústria do aço e do ferro gusa, que são as escórias de siderurgia, ricas nestes elementos, que poderiam atender essa demanda. As altas temperaturas utilizadas nos processos siderúrgicos liberam o Si de estados cristalinos presente no mineral e no fundente a formas reativas e, conseqüentemente, mais solúveis (COELHO, 1998).

Os silicatos de cálcio e de magnésio provenientes da indústria siderúrgica, aprovados para uso agrícola, possuem níveis variáveis de silício, cálcio e magnésio, além de outros elementos em menor concentração, como, por exemplo, boro, zinco, manganês, fósforo, potássio e enxofre. Estes silicatos, denominados escórias agrícolas, também são considerados corretivos agrícolas, podendo substituir totalmente os calcários.

Um número grande de materiais tem sido utilizado como fonte de Si para as plantas: escórias de siderurgia, wollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar, silicato de cálcio, silicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio (serpentinó) e silicato de potássio. A Wollastonita é um silicato de cálcio muito empregado em experimentação como fonte de Si. As escórias siderúrgicas são as fontes mais abundantes e baratas de silicatos. As escórias da siderurgia do ferro e do aço são originárias do processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1400° C, da reação do calcário (calcítico, magnesiano ou dolomítico) com a sílica (SiO₂) presente no minério de ferro: $SiO_2 + CaCO_3 + MgCO_3 \leftrightarrow CaSiO_3 + MgSiO_3 + CO_2$ (silicato de cálcio e magnésio) (KORNDÖRFER et al., 2002).

A wollastonita tem a composição teórica de 48,3% de óxido de cálcio e 51,7% de dióxido de silício, mas pode conter impurezas como Al, Fe, Mg, Mn, K e Na. O mineral pode ser formado na natureza de várias formas, entretanto para jazidas

comerciais é em geral aceito que existem duas formas de formação. As duas envolvem metamorfismo (calor e pressão) do calcário. A sílica (quartzo) e o calcário reagem para formar a wolastonita, isto ocorre normalmente através de contato metamórfico como resultado de atividade ígnea intrusiva. Wolastonita pode se formar também pela passagem de soluções hidrotérmicas com alto teor de sílica através de leitos de calcário em um processo chamado metasomatismo. O mineral é usualmente branco, mas pode ser cinza, marrom ou vermelho de acordo com as impurezas (VIRTA, 2002).

Segundo Malavolta (1981), no processo Thomas usado para a produção de aço a partir de minério de ferro rico em fósforo, o ferro fundido vai para os conversores Bessemer cujas paredes são revestidas por dolomita (carbonato de cálcio e magnésio). O fósforo se oxida graças ao ar insuflado e à temperatura de 1200 – 1300 °C se combina com a cal adicionada (15% do peso da carga) e com a sílica para produzir sílico-fosfatos de cálcio, que escorrem e depois de resfriados são moídos. Esse material obtido é bastante denso e tem cor negra ou negra acinzentada.

Trabalho realizado por Barbosa Filho & Zimmermann (2004) com a cultura do arroz, demonstrou que a aplicação de escória no solo, associada à diminuição da sua acidez, proporcionaram um aumento da disponibilidade de Si solúvel. Como conseqüências desta aplicação destacam-se os aumentos da disponibilidade de fósforo e cálcio e a elevação da porcentagem de saturação por bases, após o cultivo do arroz. Outros autores têm avaliado a utilização de escória de siderúrgica para fins agrícolas em diferentes culturas (PRADO et al., 2002).

2.3 Métodos de determinação

Para conhecer a necessidade de fertilização com Si e outros fatores relacionados ao “status” do Si no solo, é necessário desenvolver métodos eficientes de análise de Si no solo, na planta e nos fertilizantes (BARBOSA FILHO et al., 2001). Um método que mede simultaneamente a adsorção e dissolução de Si em vários tipos de solo, com diferentes históricos de aplicação de fertilizantes, e promova elevada correlação com o Si seria um valioso método para diagnosticar a capacidade de suprimento de Si para solos cultivados com arroz (SUMIDA, 1992).

Em algumas espécies de plantas, os níveis críticos de Si no solo estão sendo

atualmente estabelecidos no Brasil, usando-se como extratores de Si no solo o ácido acético e o cloreto de cálcio (KORNDÖRFER et al., 1999 e 2001), mas ainda não está definido qual o melhor extrator a ser usado. O ácido acético apresenta problemas em superestimar o teor de Si no solo, principalmente em solos corrigidos e após a aplicação de fontes ricas em aluminossilicatos como as escórias de alto forno (PEREIRA et al, 2004). O cloreto de cálcio tem o problema de apresentar um baixo coeficiente de determinação, sendo que a menor concentração de Si na solução pode acarretar erros de leitura e determinação do Si (Korndörfer et al., 1999; Pereira et al, 2007). Assim, em função da crescente demanda pelo uso do Si, há necessidade de investigar e identificar os extratores mais promissores e que apresentem alto potencial em identificar o Si do solo disponível para plantas.

De acordo com Pereira et al (2003) a escolha do extrator para avaliar a disponibilidade de Si nas fontes deve ter em conta o comportamento das fontes. Há fontes que tem elevados teores de Si total e este não está disponível para as plantas e fontes com baixo Si total, mas disponível para as plantas, de modo geral à melhor maneira de avaliar a sua eficiência é a percentagem de Si extraído pela solução, já que a dose varia no conteúdo total de Si para cada fonte.

É necessário investigar e identificar as fontes com maior potencial, observando se essas possuem as seguintes características: 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 escórias siderúrgicas (KORNDÖEFER et al. 2004). As principais características de uma fonte de Si para fins de uso na agricultura são: alto conteúdo de Si solúvel, propriedades físicas adequadas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, baixo custo, relações e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) equilibradas e ausência de metais pesados (KORNDÖRFER et al., 2003).

A sílica, dissolvida em solução na forma de ácido monossilícico, ocorre em função de um equilíbrio entre a fase sólida e a solução e, devido a esse equilíbrio, a adição de compostos solúveis de silício não eleva muito a concentração de H_4SiO_4 em solução, já que este passa rapidamente para a fase sólida (ELGAWHARY & LINDSAY, 1972).

A definição de melhores extratores químicos, de nível crítico no solo e de quanto deste elemento aplicar para corrigir solos deficientes são preocupações

básicas de técnicos e pesquisadores envolvidos no problema (FONTES et al., 1982).

As escórias siderúrgicas já são usadas como corretivos de acidez nos EUA e Japão, apresentando, também, aumento na disponibilidade de silício, fósforo, cálcio e magnésio e redução na toxidez do ferro, manganês e alumínio no solo. A sua comercialização está prevista na legislação (BRASIL, 2004), mas ainda é pouco explorada, em razão da dificuldade de sua moagem, provocando elevado desgaste e quebra das peças do moinho. Isso, no entanto, está mudando, com a recuperação do aço da escória por meio da moagem que apresenta alto valor econômico e a torna rica em silicato de Ca e Mg e livre de metais (PEREIRA et al., 2004).

Dentre os fatores que influenciam a eficiência agrônômica dos corretivos, destacam-se a quantidade, o teor de equivalente carbonato, o tempo de contato com o solo e a granulometria (OLIVEIRA et al., 1994; NOVAIS et al., 1995).

Segundo Vilela (2000), o Silicato de Cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o calcário, portanto, ocorrem reações com maior velocidade, resultando em menor espaço de tempo, para que se efetue sua ação corretiva. Ainda segundo Vilela, 2000, cita que as vantagens do silicato são a correção de acidez do solo, o fornecimento de Silício solúvel e o fornecimento de micronutrientes.

Dentre os benefícios do silício para o meio ambiente o mesmo autor cita que diminui o emprego de fungicidas, diminui o uso de inseticidas, pois mantém os inimigos naturais contra as pragas, melhora o aproveitamento da água, e preserva a camada de ozônio pois não emite CO₂ para atmosfera.

As fontes de silício usadas comercialmente são Silicato Ca e Mg (AGROSILÍCIO) aplicada via solo; Silicato Potássio (INEOS) via foliar, Termofosfato YOORIN via solo e SILIGRAN/FERTION via fertilizante/NPK.

2.4 Enxofre no sistema solo-planta

O enxofre (S) desempenha importante função no metabolismo e, por conseguinte, no ciclo vital das plantas. Moléculas contendo S participam da estrutura de aminoácidos essenciais, da clorofila, enzimas e coenzimas, além de participar de diversos processos metabólicos como ativação enzimática (COLEMAN, 1996).

Solos intensamente cultivados onde se utilizam formulações desprovidas de enxofre (S), podem apresentar baixa disponibilidade desse nutriente. Isso pode resultar em sintomas de deficiência nas culturas, acarretando redução de

produtividade (NOGUEIRA & MELO, 2003).

As pesquisas têm mostrado efeitos positivos da aplicação de enxofre em leguminosas (soja, feijão), em gramíneas (arroz, trigo, milho, sorgo, sacarino, cana de açúcar), e em outras famílias como as Malváceas e Crucíferas (algodão e colza). Essas respostas foram verificadas principalmente em solos sob vegetação de cerrado e com baixo teor de matéria orgânica, ou em áreas de cerrado em que nos cultivos iniciais, se usou adubação concentrada em N-P₂O₅-K₂O.

2.5 Fontes de silício e métodos de determinação

Teor ou nível crítico de um nutriente corresponde à concentração mínima necessária para atingir o crescimento máximo ou para um percentual deste máximo, correspondendo na realidade a uma estreita zona de transição do que a um ponto definido (FRITZ, 1976) e, é variável entre solos e planta e entre plantas e solo e, também, em função dos teores aplicados de outros nutrientes, calagem e demais tratos culturais (FONSECA et al., 1997).

A definição de melhores extratores químicos, em nível crítico no solo e de quanto deste elemento aplicar para corrigir solos deficientes são preocupações básicas de técnicos e pesquisadores envolvidos no problema (FONTES et al., 1982).

Tanto a colheita (Tabela 1) quanto a qualidade do produto podem ser influenciadas pelo S. Assim, o S aumenta o teor de metionina nas proteínas dos cereais, melhorando sua qualidade nutritiva (MALAVOLTA & MORAES, 2007).

Tabela 1: Respostas de culturas brasileiras ao enxofre.

Cultura	Aumento na produção (%)
Algodão	37
Arroz	16
Café	41
cana-de-açúcar	11
Citros	18
Capim colonião	21
Colza	51
Feijão	28
Milho	21
Repolho	9
Soja	24
Sorgo	1
Trigo	26

FONTE: MALAVOLTA (1996).

O S é importante não somente como nutriente, mas também por seu papel no mecanismo de defesa da planta contra pragas e doenças. As plantas saudáveis contêm grande variedade de metabólitos secundários, muitos dos quais contendo N e S em sua estrutura. Esses compostos estão presentes seja em sua forma ativa biologicamente ou armazenados como precursores inativos, que são convertidos na forma ativa pela ação de enzimas em resposta ao ataque do patógeno ou da praga.

A entrada de S no solo pode ocorrer por intemperismo de minerais sulfatados, águas da chuva e irrigação, deposição atmosférica (poeira), resíduos vegetais e animais, adições de fertilizantes minerais ou orgânicos e pesticidas. Por outro lado, as saídas deste elemento estão relacionadas a exportações pelas culturas, lixiviação, erosão, queimada e emissão de gases sulfurados. A incorporação ao solo de formas gasosas de S, pela deposição atmosférica ou pela dissolução na água da chuva, é variável entre regiões e apresenta maior importância nas proximidades de áreas urbanas e industriais (ALVAREZ et al., 2007).

Segundo Alvarez et al. (2007), em geral, a quantidade requerida de S pelas plantas aproxima-se da exigência nutricional em P, podendo, em algumas culturas, até superá-la; entretanto, na adubação com P e com S, para se obter uma adequada disponibilidade dos nutrientes para as plantas, deve-se aplicar doses maiores de P do que de S, especialmente em solos argilosos, pois estes tendem a apresentar maior capacidade de adsorção de P do que de S.

As fontes de enxofre adicionadas ao solo são de corretivos (gesso), fertilizantes e adubos orgânicos.

O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um composto que ocorre naturalmente, ou como subproduto da fabricação de ácido fosfórico. Trata-se de um sal neutro e, como tal, não afeta diretamente a reação solo. Mesmo assim, pode ser usado junto com calcário, como corretivo da acidez em profundidade, além de servir de fonte de enxofre e cálcio (PAVAN et al., 1982 e RAIJ & QUAGGIO, 1984).

Fertilizantes do produto contendo enxofre, os principais, no Brasil, são o sulfato de amônia, o superfosfato simples e o gesso, havendo ainda tendência de aumento do uso de fosfatos naturais parcialmente acidulados (FNPA) e de sulfatos solúveis de potássio e magnésio. Podem, ainda, ser citados o sulfonitrato de amônia, em geral empregado em misturas terciárias e o superfosfato trinta (duplo). As principais características químicas desses fertilizantes foram apresentadas no

trabalho de Vitti et al. (1984).

Adbos Orgânicos: a incorporação de resíduos de plantas ou animais ao solo, normalmente é seguida por uma seqüência de reações que variam de acordo com a população microbiana e das condições de umidade, temperatura e aeração do solo. Tendo condições favoráveis para atividade microbológica, se processa uma rápida decomposição do material incorporado. A velocidade de decomposição está relacionada com características do material, tais como C:N, teor de materiais celulósicos e tamanho de partículas (ALEXANDER, 1977 e KIEHL, 1985).

A determinação de enxofre, comumente conhecida como enxofre na forma de “sulfato”(S-SO₄), para Jones (1975), preferencialmente, deveria chamar-se de enxofre reduzível ou enxofre solúvel porque o SO₄²⁻ acumulado na planta é extraído com água fria ou quente (JOHNSON & NISHITA, 1952), com a HOAc 2% (JONES, 1975), é reduzível porque o enxofre é digerido a 115^oC e reduzido a H₂S por destilação e dosado como azul de metileno (JOHNSON & NISHITA, 1952). Tanto o enxofre solúvel como o reduzível tem apresentado valores semelhantes (JONES, 1975).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Implantação e condução do experimento

O presente estudo foi realizado entre setembro e janeiro de 2008 em casa-de-vegetação no Campus Jatobá da Universidade Federal de Goiás em Jataí, com a cultura do arroz, com a variedade primavera. Foram utilizados vasos com volume de 5 kg de 4 tipos de solos coletados no horizonte B classificados na Tabela 2 e caracterizados na Tabela 3.

TABELA 2. Identificação, classe e procedência de solos estudados.

SOLO	CLASSE DO SOLO	PROCEDÊNCIA
1 CXd	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico	Perolândia – GO
2 RQo	NEOSSOLO QUARTZARENICO Ortico	Jataí –GO
3LVwf	LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico	Jataí-GO
4 LVdf	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico	Jataí –GO

TABELA 3. Caracterização física e química dos solos estudados

CARACTERÍSTICAS	SOLOS			
	CXd	RQo	LVwf	LVdf
Argila (g kg ⁻¹)	494,4	94,5	762,1	609,0
Silte(g kg ⁻¹)	320,1	22,6	167,5	98,7
Areia fina (g kg ⁻¹)	118,5	534,9	65,8	122,3
Areia grossa (g kg ⁻¹)	67,0	348,0	4,6	170,0
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	17,0	7,0	14,0	19,0
pH (CaCl ₂)	4,5	4,0	5,3	4,6
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,1	0,2	1,1
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,1	0,1	0,6
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	3,6	1,9	3,1	3,6
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,6	0,1	0,2
K (mg dm ⁻³)	40,0	24,0	15,0	112,0
P (mehlich) (mg dm ⁻³)	0,5	1,0	0,4	2,0
CTC (cmol _c dm ⁻³)	4,5	2,2	3,4	5,6
Saturação por Bases (V%)	20,0	12,0	8,6	35,6

O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (8 X 4 X 8) com quatro repetições sendo, 8 fontes cuja dose foi definida em função do teor total de Si para fornecer 250 kg ha⁻¹ de Si e testemunha

(com carbonato de cálcio e carbonato de magnésio) (Tabela 4), 4 solos e 8 extratores no solo.

Os materiais foram selecionados e caracterizados quanto ao teor de si total, Ca, Mg e Poder de Neutralização, (PN) (Tabela 4).

TABELA 4. Características químicas das fontes de Si segundo o fabricante e quantidades aplicadas nos tratamentos

Fonte de Si	Teor total			PN calculado	Dose por vaso ⁽¹⁾		
	Si	Ca	Mg		Si	CaCO ₃	MgCO ₃
	g kg ⁻¹			%CaCO ₃ ⁽²⁾	g vaso ⁻¹		
1 Wollastomita	234,6	303,1	1,1	76,4	2,66	5,96	1,95
2 Açominas AF	134,0	199,3	38,4	65,7	4,66	5,65	1,34
3 Acesita I AF	200,0	154,3	6,9	41,7	3,13	6,77	1,89
4 Silifertil LD	57,3	292,5	43,6	91,3	10,91	0,00	0,30
5 CSN LD	50,9	201,4	45,7	69,3	12,28	1,79	0,00
6 Escoria de fosforo	215,2	310,7	4,1	79,6	2,90	5,72	1,92
7 Escoria de aço inox	108,4	262,1	56,6	89,1	5,77	4,20	0,82
8 Silica gel	200,0	---	---	---	3,13	7,97	1,96
9 Testemunha	---	---	---	---	---	7,97	1,96

⁽¹⁾ Doses de CaCO₃ e MgCO₃ para balancear os teores de Ca e Mg aplicado nos tratamentos.

⁽²⁾ % EcaCo₃= percentual equivalente em CaCO₃ de 100g do produto.

As amostras de solo, após terem sido coletados, foram adicionados CaCO₃ e MgCO₃ para balancear os valores de Ph, Ca e Mg, após foram homogeneizados e incubadas por 30 dias. Após a incubação foi aplicado fósforo na forma de superfosfato triplo (39% de P₂O₅) na dose de 1,92 g por vaso, com nova incubação por mais vinte dias. Em seguida foi realizado o plantio de 15 sementes de arroz, (*oryza sativa l.*) variedade primavera em cada vaso. No décimo dia após a germinação, foi realizado o desbaste, permanecendo seis plantas por vaso. Para suprir as necessidades nutricionais das plantas, foram aplicados semanalmente, 100 mL da seguinte solução nutritiva: 0,67 g dm⁻³ de N; 0,5 g dm⁻³ de P; 0,24 g dm⁻³ de S; 0,45 g dm⁻³ de K; 0,50 mg dm⁻³ de B; 0,54 mg dm⁻³ de Mn; 0,09 mg dm⁻³ Zn; 0,02 mg dm⁻³ de Cu; 0,02 mg dm⁻³ de Mo e 4 mg dm⁻³ de Fe. Os vasos receberam irrigação suficientes para manter o solo com 80% da capacidade de campo.

3.2 Coleta das amostras

Completados 70 dias de cultivo, no início da floração, as plantas de arroz foram colhidas e separadas a parte aérea das raízes, para obtenção da produção de massa seca.

Essas amostras da parte aérea foram secas em estufa, à 60° até atingir o peso constante, e em seguida foram pesadas e moídas em moinho do tipo Willey e analisado o teor de silício.

3.3 Análises laboratoriais

A determinação do teor de Si nas partes aéreas foi analisada segundo metodologia adaptada de Elliott e Snyder (1991).

Para avaliar a quantidade de Si e S do solo disponibilizado para as plantas de arroz, foram estudados 8 extratores descritos abaixo:

Extrator 1 - Extração em acetato de amônia 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,25 mol dm⁻³: 8 g de solo foram agitados com 80 cm³ da solução acetato de amônia + ácido acético por 1 hora;

Extrator 2 - Extração em acetato de amônia 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³: 8 g de solo foram agitados com 80 cm³ da solução acetato de amônia + ácido acético por 1 hora;

Extrator 3 - Extração em acetato de amônia 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,05 mol dm⁻³: 8 g de solo foram agitados com 80 cm³ da solução acetato de amônia + ácido acético por 1 hora;

Extrator 4 - Extração em acetato de amônia 0,25 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³: 8 g de solo foram agitados com 80 cm³ da solução acetato de amônia + ácido acético por 1 hora;

Extrator 5 - Extração em acetato de amônia 0,5 mol dm⁻³: 8 g de solo foram agitados com 80 cm³ de uma solução de 38,5 g dm⁻³ por 1 hora;

Extrator 6 - Extração em ácido acético 0,5 mol dm⁻³: 8 g de solo foram agitados com 80 cm³ de uma solução de ácido acético 0,5 mol dm⁻³ por 1 hora;

Extrator 7 - Extração em cloreto de cálcio 0,01 mol dm⁻³: 8 g de solo foram agitados com 80 cm³ de uma solução de CaCl₂ 0,01 mol dm⁻³ por 1 hora;

Extrator 8 - Extração em água: 8 g de solo com 80 cm³ de água destilada foram agitados por 1 hora;

Após a agitação, as soluções ficaram em repouso por 1 dia para a decantação das argilas suspensas para posterior filtragem com papel de filtro tipo faixa azul quando necessário.

Para a determinação do Si uma alíquota de 10 cm³ foi retirado do extrato (filtrado/decantado) de cada amostra e colocado em um becker de 50 cm³ e analisado de acordo com metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004). Acrescentou-se ao extrato 1 cm³ da solução sulfo-molibdica, para a formação do complexo BETA-molibdosilicato, de coloração amarela, que ocorre depois de 5 minutos entre pH 1,4 e 2; portanto, em alguns extratores houve a necessidade de redução do pH, antes da aplicação do molibdato de amônia, assim, para a extração com carbonato de sódio e carbonato de amônia, aplicou-se 1,5 cm³ de ácido clorídrico (1 mol dm⁻³) em 10 cm³ do extrato, e as extrações com acetato de amônia são necessários 3 cm³ de ácido clorídrico (1 mol dm⁻³) em 10 cm³ do extrato.

Na obtenção da curva padrão (uma curva para cada extrator) foi acrescentada água destilada do mesmo volume de ácido acrescentado para cada extrator. Decorridos 10 minutos da aplicação de molibdato, foram acrescentados 2 cm³ da solução de ácido tártarico 200 g dm⁻³ (utilizado para complexar o P da solução).

Após 5 minutos adicionaram-se 10 cm³ da solução de ácido asbórico 3 g dm⁻³ para que a quantificação de silício fosse realizada através da redução do complexo BETA-molibdosilicato amarelo ao “azul-de-molibdênio”, após 1 hora foi feita a leitura em espectrofotômetro a 660 nm (KILMER, 1965).

Para determinação do enxofre foi utilizado um tubo de ensaio de 50 mL, na qual pipetou-se 10 mL do extrato e adicionou-se 5 mL da solução que se dissolveram e foram acrescidos, em balão volumétrico de 500 mL, 50g de BaCl₂.H₂O em ± 300 mL de água. Dissolveu-se em Becker de 100 mL, 0,50 g de goma arábica em pó em ± 50 mL de água. Passou-se esta solução ao balão de 500 mL, misturando as soluções. Adicionou-se 60 mL de HCl 1+1, completou-se o volume com água, homogeneizou-se e filtrou-se esta solução que foi preparada na hora da sua utilização. Agitou-se em agitador de tubo de ensaio até a homogeneização da suspensão. Esperou-se pelo menos 10 minutos para a completa formação da turbidez e, 2-3 minutos antes de fazer a leitura em espectrofotômetro, onde agitou-se novamente para ressuspender o precipitado.

Depois de aquecer o espectrofotômetro, calibrá-lo conforme as instruções do manual de operações. Passado 10 min da agitação para formação do precipitado, depois da agitação entre 2 e 3 minutos para leitura a 420 nm e esperar de 1,0 cm de largura.

O teor de Si e S da parte aérea do arroz foi correlacionado com o Si e o S

extraído dos solos nos diferentes extratores, obtendo-se assim, as curvas e o coeficiente de correlação (R^2) entre o teor de silício da parte aérea das plantas de arroz e aquela concentração de silício no solo obtido pelos extratores.

Nos dados obtidos foi realizada análise de variância e as médias quando significativas comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de matéria seca de plantas de arroz

Observou-se que plantas de arroz cultivadas em Neossolo Quartzarênico Ortico (RQo), apresentaram a menor produção, como pode ser observado pela tabela 5, demonstrando a menor fertilidade natural deste solo e isso refletiu na produtividade dos tratamentos com as fontes e diferindo dos demais solos na média dos tratamentos. Neste tipo de solo RQo observou-se que a menor produção de arroz foi observada pelas escórias Açominas AF e Silifertil LD.

No Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), houve diferença na produção de matéria seca da parte aérea das plantas cultivadas no solo com a Escória de Aço inox, que apresentou a maior produção, diferindo da escória Acesita AF e da Sílica Gel, que apresentaram uma menor produção. As plantas cultivadas em Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf) não apresentaram diferença significativa quanto às fontes analisadas. Caso semelhante se observou no Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXd), onde apresentou uma maior produção de matéria seca diferindo dos demais solos pela média.

Tendo em vista o efeito positivo da aplicação de Si no incremento da produção de grãos em vários trabalhos com arroz (KORNDÖRFER et al., 1999), esperava-se também, nesse estudo, respostas para essa característica. Entretanto a aplicação do elemento não afetou as produções de massa seca das plantas crescidas nos solos RQo e LVdf. Em casa-de-vegetação é comum não obter resposta a aplicação de Si, pois seus efeitos benéficos às plantas são mais visíveis em condições de stress (principalmente pela ação de patógenos, frio e seca), como neste ambiente as condições são controladas, ações de stress são minimizadas mascarando o efeito do Si sobre a produção (PEREIRA et al., 2004).

Tabela 5. Matéria seca da parte aérea das plantas de arroz utilizando diferentes fontes de Si em 4 tipos de solo.

	CXd		RQo		LVwf		LVdf		Média
	----- g vaso ⁻¹ -----								
Testemunha	11,13 a	A	10,01 a	A	10,41 a	A	10,43 ab	A	10,50 a
Wollastonita	11,83 a	A	8,96 ac	A	10,52 a	A	10,48 ab	A	10,45 a
Açominas AF	12,20 a	A	6,47 bc	B	11,89 a	A	11,08 ab	A	10,41 a
Acesita I AF	11,41 a	AB	8,18 ac	C	11,84 a	A	8,69 b	BC	10,03 a
Silifertil LD	12,79 a	A	5,91 c	B	10,69 a	A	11,77 ab	A	10,29 a
CSN LD	11,44 a	A	10,08 ab	A	10,22 a	A	11,26 ab	A	10,75 a
Escória de fósforo	11,72 a	A	10,06 ab	A	10,03 a	A	9,66 ab	A	10,37 a
Escória de aço inox	11,19 a	AB	10,80 a	AB	10,17 a	B	13,34 a	A	11,37 a
Sílica Gel	11,77 a	A	9,66 ac	A	9,99 a	A	8,96 b	A	10,09 a
Média	11,72	A	8,90	C	10,64	B	10,63	B	

Letras minúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na coluna. Letras maiúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na linha, a nível de 5% de significância.

CXd: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico; RQo: NEOSSOLO QUARTZARENICO Ortico; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférico; LVdf: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico.

4.2 Silício e enxofre nas plantas de arroz

Em plantas de arroz cultivadas em Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXd) o teor de Si na parte aérea aumentou significativamente com a aplicação de Wollastonita e Escória de Fósforo (tabela 6). No Neossolo Quartzarenico Ortico (RQo), o maior teor foliar de Si na parte aérea das plantas de arroz foi observado para o tratamento com a Sílica Gel. No Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf) as fontes Wollastonita, CSN LD, Escória de Fósforo, Escória de Aço inox, e Sílica Gel apresentaram maiores teores de Si. Já no solo Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) somente a Escória de Aço inox e a Silica Gel obtiveram o mesmo comportamento. Quando se observou a média dos extratores, a Sílica Gel foi a fonte que apresentou o melhor comportamento.

Quando se compara a média dos solos analisados, percebe-se que as plantas cultivadas no LVdf obtiveram um maior teor foliar de Si na parte aérea.

Tabela 6. Teor foliar de Si na parte aérea das plantas de arroz.

	CXd		RQo		LVwf		LVdf		Média
	g kg ⁻¹								
Testemunha	8,07 b	AB	5,06 d	B	7,84 b	AB	9,43 d	A	7,60 d
Wollastonita	13,09 a	B	11,62 bc	B	19,35 a	A	17,07 bc	A	15,28 b
Açominas AF	8,98 ab	A	7,06 cd	A	7,60 b	A	9,79 d	A	8,36 d
Acesita I AF	7,82 b	B	6,97 cd	B	10,01 b	AB	15,01 cd	A	9,95 d
Silifertil LD	7,73 b	A	7,10 cd	A	9,03 b	A	10,68 d	A	8,63 d
CSN LD	8,94 ab	B	9,83 cd	B	16,00 a	A	15,46 bc	A	12,56 c
Escória de fósforo	13,05 a	B	14,61 ab	B	15,95 a	B	20,29 ab	A	15,97 ab
Escória de aço inox	12,20 ab	C	11,66 bc	C	19,21 a	B	23,59 a	A	16,67 ab
Sílica Gel	10,86 ab	C	18,95 a	B	19,03 a	B	23,32 a	A	18,04 a
Média	10,08	C	10,32	C	13,78	B	16,07	A	

Letras minúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na coluna. Letras maiúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na linha, a nível de 5% de significância.

CXd: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico; RQo: NEOSSOLO QUARTZARENICO Ortico; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférico; LVdf: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico.

Com relação a extração de Si pelas plantas de arroz (Tabela 7) a Wollastonita e a Escória de Fósforo foram superiores quando cultivadas em solo Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXd). A Sílica Gel se destacou em relação aos outros tratamentos quando as plantas de arroz foram cultivadas no solo Neossolo Quartzarenico Ortico (RQo). Já no solo Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf), os tratamentos que se sobressairam foram a Wollastonita, a Escória de Aço inox e a Silica Gel. A Escória de Aço inox apresentou-se superior também no solo Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf). Com relação a média dos tratamentos a Escória de Aço inox foi o tratamento responsável pelo maior acúmulo de Si na parte aérea das plantas de arroz. Já em relação a média dos solos, o maior acúmulo de Si ocorreu nas plantas que foram cultivadas no LVdf.

Prado & Fernandes (1999) observaram resultados semelhantes em um experimento em vasos com dois solos, sendo que, no solo arenoso, a Escória foi superior ao Calcário no aumento do P disponível, enquanto no Latossolo Vermelho-Escuro, ambos os corretivos aumentaram o P disponível, porém o tratamento com calcário necessitou de dose duas vezes maior em equivalente de CaCO₃ em relação à Escória, para expressar o mesmo efeito, ou seja para atingir o mesmo nível de P disponível do solo.

Com relação ao Si acumulado na parte aérea das plantas cultivadas no solo LVwf, as fontes Wollastonita, Escória de Aço inox e Sílica Gel não diferiram entre si, porém apresentaram diferenças significativas em relação às outras fontes avaliadas. Tanto para o solo LVdf quanto para a média dos tratamentos, a Escória de Aço inox apresentou diferença significativa, sendo a fonte responsável pelo maior acúmulo de Si na parte aérea das plantas. Com relação a média dos solos, o LVdf foi o único que variou significativamente, concordando com Pereira et al. (2004) e Braga (2004) que obtiveram o mesmo efeito utilizando doses crescentes de Si para a cultura do arroz.

Tabela 7. Si acumulado na parte aérea das plantas de arroz cultivada nos 4 tipos de solos estudados.

	CXd		RQo		LVwf		LVdf		Média
	----- mg vaso ⁻¹ -----								
Testemunha	90,04	b A	51,16	cd A	81,06	c A	96,81	d A	79,77
Wollastonita	154,54	a B	104,41	bc C	205,52	a A	178,02	bc AB	160,62
Açominas AF	109,79	ab A	44,82	d B	89,06	c AB	106,81	d A	87,62
Acesita I AF	89,22	b AB	57,91	cd B	119,66	bc A	127,44	cd A	98,56
Silifertil LD	98,76	ab A	41,61	d B	96,93	c A	121,45	cd A	89,68
CSN LD	99,67	ab B	96,46	bd B	162,19	ab A	170,42	bc A	132,18
Escória de fósforo	153,13	a AB	145,25	ab B	158,16	ab AB	198,68	b A	163,81
Escória de aço inox	136,60	ab C	125,79	ab C	192,76	a B	309,98	a A	191,29
Sílica Gel	127,51	ab B	182,69	a A	187,79	a A	209,99	b A	176,99
Média	117,70	C	94,46	D	143,68	B	168,84	A	

Letras minúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na coluna. Letras maiúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na linha, a nível de 5% de significância.

CXd: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico; RQo: NEOSSOLO QUARTZARENICO Ortico; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférico; LVdf: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico.

De modo geral, observou-se que a aplicação de Escória de Aço inox aumentou a disponibilidade de S no solo (Tabela 8), o qual foi absorvido pelo sistema radicular das plantas de arroz, e se acumulou no tecido foliar. Duas hipóteses são possíveis de ser levantadas quando o teor de Si estiver mais elevado do que o teor de S na planta, uma de que possa ocorrer a dessorção do enxofre, como um efeito indireto; e outra de efeito mais direto, na qual ocorre o maior crescimento radicular das plantas de arroz.

De acordo com Pereira et al. (2004), a medida em que se aumentava a dose de Wollastonita, Acesita e Silifertil, aumentavam os teores de Si na parte aérea e

casca do arroz, concordando também com dados obtidos por Braga et al. (2004).

Percebe-se que houve um efeito significativo entre as fontes analisadas para o teor de S, visto que, a Sílica Gel apresentou um maior teor foliar de S em relação ao solos Cambissolo Háplico Tb distroférico (CXd) e Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), e para a média geral entre as fontes. Quando se analisa o teor de S nas plantas do solo Neossolo Quartzarenico Ortico (RQo), observa-se que não houve diferença significativa, ou seja, todos os tratamentos se comportaram da mesma forma, obtendo a menor quantidade em g Kg^{-1} de S. As plantas cultivadas no LVwf obtiveram os melhores resultados quando tratadas com as fontes Wollastonita e Silifertil LD.

Tabela 8. Teor foliar de Enxofre nas plantas de arroz.

	CXd	RQo	LVwf	LVdf	Média
	----- g kg ⁻¹ -----				
Testemunha	1,63 b B	1,43 a B	1,72 b B	2,40 ab A	1,79 B
Wolastonita	1,67 b B	1,03 a C	2,50 a A	1,95 b AB	1,79 B
Açominas AF	1,55 b A	1,25 a A	1,77 b A	1,70 b A	1,57 b
Acesita I AF	1,95 b A	1,18 a B	2,23 ab A	2,25 ab A	1,90 b
Silifertil LD	1,47 b B	1,25 a B	2,53 a A	2,25 ab A	1,88 b
CSN LD	1,32 b B	1,30 a B	2,25 ab A	2,24 ab A	1,78 b
Escória de fósforo	1,50 b B	1,03 a B	2,17 ab A	2,35 ab A	1,76 b
Escória de aço inox	1,43 b B	1,38 a B	2,28 ab A	2,18 ab A	1,81 b
Sílica Gel	3,15 a A	1,13 a C	2,36 ab B	2,80 a AB	2,36 a
Média	1,74 B	1,22 C	2,20 A	2,23 A	

Letras minúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na coluna. Letras maiúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na linha, a nível de 5% de significância.

CXd: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico; RQo: NEOSSOLO QUARTZARENICO Ortico; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférico; LVdf: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico.

Analisou-se o solo RQo em relação à extração de enxofre pelas plantas de arroz e verificou-se que não houve diferença significativa entre as fontes, porém essa diferença foi observada em relação à média das plantas cultivadas nos solos LVwf e LVdf (Tabela 9). A Sílica Gel apresentou diferença quando utilizada no solos CXd e RQo, e em relação à média dos tratamentos foi a que mais se destacou. A Wollastonita, Acesita I AF e a Silifertil LD foram as fontes que mais se destacaram em relação às outras, quando as plantas foram cultivadas no solo LVwf. Para as plantas cultivadas no solo LVdf, a Escória de Aço inox foi a fonte que mais se destacou, ao contrário das fontes Açominas AF e Acesita I AF, que apresentaram as

menores quantidades de S acumulado na parte aérea das plantas de arroz .

Tabela 9. Enxofre acumulado na parte aérea das plantas de arroz.

	CXd		RQo		LVwf		LVdf		Média
	----- mg vaso ⁻¹ -----								
Testemunha	180,40 b B		143,93 a B		171,71 b B		253,27 ab A		187,33 b
Wollastonita	199,29 b A		92,42 a B		264,44 a A		200,57 ab A		189,18 b
Açominas AF	188,77 b A		77,48 a B		210,44 ab A		182,36 b A		164,76 b
Acesita I AF	222,33 b A		96,55 a B		260,46 a A		195,36 b A		193,68 b
Silifertil LD	188,69 b B		71,63 a C		267,47 a A		254,70 ab AB		195,62 b
CSN LD	152,40 b B		128,39 a B		230,36 ab A		251,49 ab A		190,66 b
Escória de fósforo	175,29 b A		103,17 a B		215,06 ab A		224,41 ab A		179,48 b
Escória de aço inox	160,46 b BC		146,79 a C		229,40 ab AB		283,67 a A		205,08 ab
Sílica Gel	371,15 a A		108,69 a C		235,51 ab B		246,06 ab B		240,35 a
Média	204,31 B		107,67 C		231,65 A		232,43 A		

Letras minúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na coluna. Letras maiúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na linha, a nível de 5% de significância.

CXd: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico; RQo: NEOSSOLO QUARTZARENICO Ortico; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférico; LVdf: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico.

4.3 Silício e enxofre no solo

Podem ser observados os teores de Si obtidos nos solos pelos diversos extratores em função das fontes aplicadas na tabela 10, onde verificou-se variação significativa no teor de Si no solo, em relação aos diferentes extratores. De acordo com Pereira et al (2003), a disponibilidade de Si nas fontes leva em conta o comportamento dessas fontes no solo, há fontes que tem elevados Si total, porém este não está disponível para as plantas; por outro lado, há fontes com baixo Si total, mas disponível para as plantas. Deste modo, a melhor maneira de se avaliar a eficiência das fontes no presente trabalho é através da percentagem de Si extraído pela solução, já que a dose baseou-se no conteúdo total de Si para cada fonte.

Para o solo Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXd), a fonte Wollastonita, foi a que obteve a maior eficiência na extração e fornecimento de Si no solo quando determinada através dos extratores 3 e 4. Já para os extratores 1, 5, 7 e 8 não houve diferença significativa entre as fontes. A Sílica Gel e a Escória de Aço inox obtiveram um bom resultado utilizando o extrator 4. Para o extrator 6, a escória CSN

LD foi a fonte que mais liberou Si para o solo. Esta fonte também se destacou quando comparada à média dos tratamentos, obtendo a maior concentração de Si liberado. Em relação a média dos extratores para esse tipo de solo (CXd), o extrator 6 foi o que obteve os melhores resultados.

Trabalhando com doses de Wollastonita na cultura do arroz, Korndörfer et al. (1999) obtiveram elevadas correlações entre Si extraído pelas plantas e produção de massa seca com o Si extraído do solo, usando ácido acético como extrator. Uma vez que o ácido acético extraiu menor quantidade de Si da Wollastonita, considera-se que o Si determinado no solo foi aquele disponibilizado. Todavia, este extrator pode não ser tão adequado quando se aplica ao solo uma fonte rica em Si, mas de baixa eficiência, na qual o ácido acético pode agir extraíndo Si da fonte e não o disponível no solo, como ocorre com as escórias de alto-forno. Fato semelhante ocorre com o fósforo quando se aplica fosfato natural e são feitas análises usando o duplo ácido como extrator. A disponibilidade deste elemento fica superestimada no solo, fornecendo, assim, resultados irreais (RAIJ, 1991).

As melhores fontes para liberação de silício no solo Neossolo Quartzarenico Ortico (RQo), para os dois extratores (cloreto de cálcio e ácido acético), foram a Silifertil LD, sendo superior nos extratores 1, 3 e 4; Sílica Gel, com melhores resultados nos extratores 1 e 3; e a fonte CSN LD, que obteve a melhor média para liberação de Si no solo no extrator 6, e também na média geral das fontes para esse solo RQo. Para os extratores 2, 5 e 7, não houve diferença significativa entre as fontes analisadas. Através das médias dos extratores, observou-se que o extrator 6 foi o que obteve os melhores resultados.

Analisando o solo Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf), observou-se que somente os extratores 4 e 6 apresentaram diferenças significativas em relação às fontes de Si utilizadas. Para este solo, a fonte CSN LD foi a que mais liberou Si, diferindo das demais, tanto para o extrator 6, quanto para a médias das fontes. Para o extrator 4, as fontes que mais se destacaram foram a Silifertil LD e CSN LD. Em relação a média dos extratores, o que mais se destacou foi o extrator 6.

Para o solo Latossolo Vermelho Distroférico, a Escória de Aço inox foi a fonte que mais disponibilizou Si para o solo quando os extratores 1, 2 e 4 foram utilizados. A escória Silifertil LD apresentou diferença quando analisada pelo extrator 1. A fonte CSN LD foi superior às demais fontes, quando utilizado o extrator 6, e para a média das fontes. Os extratores 3, 5, 7 e 8 não apresentaram diferenças significativas entre

as fontes.

Com relação a média geral dos solos, pode-se perceber que a Sílica Gel foi a fonte que mais disponibilizou Si para o solo quando os extratores 1 e 3 foram utilizados. Porém, quando se utilizou o extrator 2, as melhores fontes para liberar Si para o solo foram a Wollastonita, a Escória de Aço inox e a Sílica Gel. Para o extrator 4, a Silifertil LD e a Escória de Aço inox foram as fontes que mais se destacaram, e para o extrator 6 foi a CSN LD a fonte que mais liberou Si para o solo, sendo que esse último também se sobressaiu na média entre as diferentes fontes.

Conforme a tabela 11, percebe-se que a concentração de S no solo não apresentou nenhuma diferença significativa para os extratores 2 e 6 em relação ao solo Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXd), para as diferentes fontes de Si. Observa-se que quando se utilizou o extrator 4, as fontes Wollastonita e Acesita I AF liberaram uma maior quantidade de S para o solo. O mesmo foi observado para as fontes Sílica Gel, Silifertil LD e Acesita I AF, quando foram utilizados os extratores 1, 7 e 8, respectivamente. De acordo com a média das fontes, Wollastonita e Açominas AF foram as que mais liberaram S. Já para a média dos extratores, o que mais se destacou para esse solo foi o extrator 8.

Para o solo Neossolo Quartzarenico Ortico (RQo), as fontes que mais disponibilizaram S para o solo foram a Sílica Gel pelo extrator 1, e a Açominas AF pelo extrator 8. Para os extratores 2, 3, 6 e 7, não foram observadas diferenças significativas quanto as fontes utilizadas. Para as médias de extratores e fontes para este tipo de solo, os tratamentos que mais se destacaram foram extrator 8, e fontes Wollastonita e Açominas AF.

A escória Açominas AF, foi a fonte que mais liberou S para o solo Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf), como pode ser observado pela média das fontes para esse tipo de solo. Para o extrator 1, a Sílica Gel foi a fonte que obteve os melhores resultados na liberação de S. Não foram observadas diferenças significativas para os extratores 2, 3 e 6, quanto as fontes analisadas. O extrator 8 se sobressaiu em relação à média dos extratores.

Tabela 10. Concentração de silício no solo recuperado pelos diferentes extratores

	Extrator 1		Extrator 2		Extrator 3		Extrator 4		Extrator 5		Extrator 6		Extrator 7		Extrator 8		media									
	CXd																									
	mg dm ⁻³																									
Testemunha	17,45	a	BC	12,48	b	BD	9,70	b	CD	22,49	ab	AB	1,41	a	D	29,86	d	A	5,69	a	CD	6,26	a	CD	13,17	d
Wollastonita	25,41	a	A	27,68	ab	A	22,70	a	A	32,26	a	A	3,89	a	B	34,82	cd	A	5,66	a	B	7,11	a	B	19,94	bc
Açominas AF	21,63	a	B	22,79	ab	B	16,92	ab	BC	29,03	b	B	3,44	a	D	73,45	b	A	6,06	a	CD	6,98	a	CD	22,54	b
Acesita I AF	15,59	a	BC	13,78	b	BD	13,30	ab	BD	24,26	ab	B	2,84	a	D	69,19	b	A	4,84	a	CD	6,86	a	C	18,83	bc
Silifertil LD	17,95	a	BD	19,16	ab	BC	17,31	ab	BD	25,13	ab	B	3,29	a	E	46,08	c	A	6,04	a	DE	8,36	a	CE	17,92	c
CSN LD	15,97	a	BC	18,75	ab	B	14,74	ab	BC	19,66	b	B	3,99	a	C	182,60	a	A	3,94	a	C	4,88	a	C	33,07	a
Escória de fósforo	19,99	a	B	19,68	ab	B	16,48	ab	BC	23,71	ab	AB	3,53	a	D	33,37	d	A	4,55	a	CD	6,38	a	CD	15,96	cd
Escória de aço inox	22,16	a	AB	24,72	ab	AB	16,50	ab	BC	34,08	a	A	3,56	a	D	31,07	d	A	6,73	a	CD	8,21	a	CD	18,38	bc
Sílica Gel	19,72	a	AB	22,93	ab	A	18,17	ab	AC	22,18	a	A	4,30	a	D	29,07	d	A	6,39	a	CD	8,29	a	BD	16,38	cd
Média	19,54		C	20,22		C	16,20		C	25,87		B	3,36		D	58,83		A	5,55		D	7,04		D		
	RQo																									
	mg dm ⁻³																									
Testemunha	5,74	b	A	3,35	a	A	3,33	b	A	5,96	c	A	0,24	a	A	11,48	e	A	3,75	a	A	5,03	a	A	4,86	d
Wollastonita	13,84	ab	AB	9,62	a	AB	12,95	ab	AB	18,92	b	A	4,06	a	B	20,23	de	A	6,68	a	B	9,09	ab	AB	11,92	c
Açominas AF	12,22	ab	BC	10,75	a	BC	10,75	ab	BC	15,00	ac	B	2,86	a	C	60,02	b	A	4,81	a	BC	8,46	bc	BC	15,61	bc
Acesita I AF	9,90	ab	B	8,20	a	B	8,96	ab	B	12,23	bc	B	3,03	a	B	46,39	c	A	5,69	a	B	6,36	b	B	12,59	bc
Silifertil LD	18,10	a	AB	13,41	a	CD	18,68	a	AC	27,21	a	AB	6,49	a	D	30,70	d	A	6,16	a	D	9,56	cd	B	16,29	b
CSN LD	10,42	ab	BC	12,29	a	BC	10,75	ab	BC	20,76	ab	B	3,89	a	C	99,35	a	A	5,99	a	C	8,74	bc	BC	21,52	a
Escória de fósforo	16,33	ab	AB	13,51	a	AB	15,38	ab	AB	18,59	ab	AB	6,66	a	B	24,08	d	A	6,65	a	B	9,84	b	B	13,88	bc
Escória de aço inox	13,67	ab	AB	14,78	a	AB	13,25	ab	B	16,33	ac	AB	5,61	a	B	25,56	d	A	7,13	a	B	8,69	b	B	13,13	bc
Sílica Gel	19,15	a	AD	12,58	a	AD	15,96	a	AD	20,48	ab	AB	7,02	a	D	23,31	de	A	7,67	a	CD	10,81	bd	BD	14,62	bc
Média	13,26		BC	10,94		CD	12,22		CD	17,28		B	4,43		F	37,90		A	6,06		EF	8,51		DE		

Continuação da tabela 10...

	Extrator 1		Extrator 2		Extrator 3		Extrator 4		Extrator 5		Extrator 6		Extrator 7		Extrator 8		media
	LVwf																
	mg dm ⁻³																
Testemunha	16,50 a	AC	14,02 a	BD	11,61 a	BD	20,94 ab	AB	2,22 a	D	27,17 c	A	5,95 a	CD	6,63 a	CD	13,13 cd
Wollastonita	21,66 a	A	19,92 a	AB	20,27 a	AB	23,51 ab	A	4,89 a	C	31,30 c	A	6,04 a	C	8,54 a	BC	17,02 bd
Açominas AF	17,24 a	BC	17,35 a	BC	14,79 a	BD	22,85 ab	B	3,44 a	D	58,53 b	A	3,85 a	D	5,51 a	D	17,94 b
Acesita I AF	14,37 a	BC	13,29 a	BC	16,06 a	BC	22,58 ab	B	4,30 a	C	46,83 b	A	4,39 a	C	5,76 a	C	15,95 bd
Silifertil LD	21,73 a	B	19,83 a	B	19,22 a	B	29,16 a	AB	4,56 a	C	34,02 c	A	5,85 a	C	6,73 a	C	17,64 b
CSN LD	21,75 a	BC	20,44 a	BD	14,89 a	CE	31,84 a	B	4,75 a	E	96,97 a	A	6,04 a	E	8,31 a	DE	25,62 a
Escória de fósforo	14,68 a	AD	17,23 a	AB	13,37 a	AD	15,93 b	AC	3,63 a	D	25,18 c	A	5,07 a	CD	6,66 a	BD	12,72 d
Escória de aço inox	16,81 a	AB	19,14 a	A	19,61 a	A	20,14 ab	A	4,53 a	C	28,78 c	A	5,90 a	BC	6,83 a	BC	15,22 bd
Sílica Gel	23,26 a	A	19,43 a	AB	20,27 a	A	26,59 ab	A	4,32 a	C	31,16 c	A	5,99 a	C	7,94 a	BC	17,37 bc
Média	18,67	C	17,85	C	16,68	C	23,73	B	4,07	D	42,21	A	5,45	D	6,99	D	
	LVdf																
	mg dm ⁻³																
Testemunha	18,41 ac	A	14,64 b	AB	15,47 a	AB	21,21 bd	A	3,79 a	B	22,05 c	A	4,25 a	B	4,63 a	B	13,06 e
Wollastonita	23,81 ac	A	21,05 b	A	21,87 a	A	30,45 ac	A	5,92 a	B	32,46 c	A	5,38 a	B	6,06 a	B	18,37 ad
Açominas AF	16,57 bc	BC	16,86 b	BC	16,38 a	BC	22,76 bd	B	3,79 a	D	58,55 b	A	3,21 a	D	4,91 a	CD	17,88 ad
Acesita I AF	16,50 bc	BC	13,78 b	BD	15,45 a	BD	22,45 bd	B	3,56 a	D	50,84 b	A	6,49 a	CD	4,36 a	D	16,68 be
Silifertil LD	21,18 a	A	19,12 b	A	16,77 a	AB	28,50 ad	A	5,39 a	B	27,84 c	A	5,24 a	B	6,51 a	B	16,32 ce
CSN LD	15,54 c	BD	18,85 b	B	15,03 a	BD	17,09 d	BC	3,89 a	D	96,27 a	A	4,29 a	D	5,41 a	D	22,05 a
Escória de fósforo	18,65 ac	A	22,54 ab	A	15,60 a	AB	19,04 cd	A	5,01 a	B	25,61 c	A	3,94 a	B	5,06 a	B	14,43 de
Escória de aço inox	30,05 a	AC	33,46 a	AB	23,33 a	BC	37,72 a	A	4,63 a	E	20,56 c	CD	8,40 a	E	8,66 a	DE	20,85 ab
Sílica Gel	27,85 ab	A	22,03 ab	A	24,12 a	A	32,53 ab	A	5,56 a	B	31,69 c	A	5,76 a	B	6,96 a	B	19,56 ac
Média	20,95	C	20,26	C	18,23	C	25,75	B	4,62	D	40,65	A	5,22	D	5,84	D	

Continuação da tabela 10...

	Extrator 1		Extrator 2		Extrator 3		Extrator 4		Extrator 5		Extrator 6		Extrator 7		Extrator 8		media
	Média																
	----- mg dm ⁻³ -----																
Testemunha	14,52 c	BC	11,12 c	CD	10,03 c	CE	17,65 c	AB	1,92 a	F	22,64 f	A	4,91 a	EF	5,64 a	DF	11,18 e
Wollastonita	21,18 ab	BC	19,57 a	C	19,45 ab	C	26,29 ab	AB	4,69 a	D	29,70 de	A	5,94 a	D	7,70 a	D	17,54 bc
Açominas AF	16,91 ac	BC	16,94 ac	BC	14,71 ac	C	22,41 ac	B	3,38 a	D	62,64 b	A	4,48 a	D	6,46 a	D	19,20 b
Acesita I AF	14,09 c	C	12,26 bc	C	13,44 bc	C	20,38 bc	B	3,43 a	D	53,31 c	A	5,35 a	D	5,83 a	D	16,34 cd
Silifertil LD	19,74 ac	C	17,88 ab	C	18,00 ab	C	27,50 a	B	4,93 a	D	34,66 d	A	5,82 a	D	7,79 a	D	17,06 bc
CSN LD	15,92 bc	C	17,58 ab	BC	13,85 ac	C	22,34 ac	B	4,13 a	D	118,80 a	A	5,07 a	D	6,83 a	D	25,73 a
Escória de fósforo	17,41 ac	B	18,24 ab	B	15,21 ac	B	19,32 c	B	4,71 a	C	27,06 ef	A	5,06 a	C	6,98 a	C	14,57 d
Escória de aço inox	20,67 ab	BC	23,03 a	AC	18,17 ab	C	27,07 a	A	4,58 a	D	26,49 ef	AB	7,04 a	D	8,10 a	D	17,36 bc
Sílica Gel	22,50 a	BC	19,24 a	C	19,63 a	BC	25,44 ab	AB	5,30 a	D	28,81 de	A	6,45 a	D	8,50 a	D	16,77 bc
Média	18,10	C	17,32	CD	15,83	D	23,16	B	4,12	F	44,90	A	5,57	EF	7,09	E	17,31

Letras minúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na coluna. Letras maiúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na linha, a nível de 5% de significância.

CXd: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico; RQo: NEOSSOLO QUARTZARENICO Ortico; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférico; LVdf: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico.

Tabela 11. Concentração de enxofre no solo recuperado pelos diferentes extratores.

	Extrator 1	Extrator 2	Extrator 3	Extrator 4	Extrator 5	Extrator 6	Extrator 7	Extrator 8	media		
CXd											
----- mg dm ⁻³ -----											
Testemunha	24,40 bd BD	17,79 a D	19,88 a CD	25,36 ab BC	43,09 a A	2,61 a F	10,24 b E	31,81 ef B	21,90 cd		
Wollastonita	18,00 d C	18,83 a C	18,13 ab E	26,80 a B	34,45 bc A	3,79 a D	10,24 b D	34,04 df AB	20,53 cd		
Açominas AF	22,91 cd B	23,87 a B	17,40 ab BC	17,78 c BC	37,86 ac A	2,95 a D	11,69 ab C	43,31 bc A	22,22 bc		
Acesita I AF	31,08 ab C	23,83 a CD	17,62 ab D	26,94 a C	39,18 ab B	2,76 a E	16,53 ab E	61,74 a A	27,46 a		
Silifertil LD	26,50 bc B	24,59 a BC	18,13 ab C	21,73 c BC	39,24 ab A	3,30 a E	17,85 a C	46,37 b A	24,71 b		
CSN LD	20,98 cd B	17,84 a BC	12,14 b C	18,84 bc C	31,09 cd A	4,13 a E	14,25 ab BC	35,68 de A	19,37 de		
Escória de fósforo	25,67 bc C	20,27 a CD	12,36 b EF	22,39 ac C	33,46 bc B	5,17 a F	13,70 ab DE	41,32 bd A	21,79 cd		
Escória de aço inox	24,96 bd A	20,72 a AB	11,42 b CD	15,87 c BC	25,70 d A	5,22 a D	10,45 ab CE	27,82 f A	17,77 e		
Sílica Gel	35,28 a A	21,13 a B	14,54 ab AB	21,21 ac B	34,94 bc A	6,99 a D	11,69 ab CD	38,62 ce A	23,05 bc		
Média	25,53 C	20,99 D	15,73 E	21,88 D	35,45 B	4,10 G	12,96 F	40,08 A			
RQo											
----- mg dm ⁻³ -----											
Testemunha	10,44 ab CD	9,19 a CD	8,08 a CD	14,09 a BC	19,76 a B	3,10 a D	11,21 a C	34,39 de A	13,78 ab		
Wollastonita	6,85 b BD	8,65 a BD	5,17 a CD	10,80 ab BC	13,21 ab B	3,30 a D	8,85 a BD	58,22 b A	14,38 a		
Açominas AF	5,41 b B	7,84 a B	3,33 a B	7,11 ab B	5,61 c B	2,46 a B	9,48 a B	77,94 a A	14,90 a		
Acesita I AF	6,85 b BD	7,48 a BD	2,82 a CD	11,46 ab B	5,50 bc BD	1,97 a D	9,82 a BC	58,57 b A	13,06 ac		
Silifertil LD	5,32 b BC	5,99 a BC	1,71 a C	4,15 b BC	6,55 bc BC	3,49 a BC	9,48 a B	32,63 e A	8,67 e		
CSN LD	5,80 b BC	6,76 a BC	1,50 a C	8,50 ab BC	9,14 bc B	4,33 a BC	10,93 a B	40,38 cd A	10,92 ce		
Escória de fósforo	8,83 ab B	6,80 a BC	1,28 a C	8,23 ab BC	9,85 bc B	4,38 a BC	9,27 a B	44,49 e A	11,64 bd		
Escória de aço inox	9,00 ab BC	9,37 a BC	2,01 a C	4,81 b BC	6,49 bc BC	5,41 a BC	9,96 a B	27,94 cd A	9,37 de		
Sílica Gel	15,63 a B	7,30 a CD	2,52 a D	7,84 ab CD	5,06 c CD	6,84 a CD	11,00 a BC	44,14 c A	12,54 ac		
Média	8,24 B	7,71 B	3,16 C	8,55 B	9,02 B	3,92 C	10,00 B	46,52 A			

Continuação da tabela 11...

	Extrator 1		Extrator 2		Extrator 3		Extrator 4		Extrator 5		Extrator 6		Extrator 7		Extrator 8		media									
	LVwf																									
	----- mg dm ⁻³ -----																									
Testemunha	15,40	ac	CD	14,32	a	CE	12,53	a	DE	22,99	a	AB	29,50	a	A	4,72	a	F	7,61	b	EF	21,36	e	BC	16,05	ab
Wollastonita	14,41	bc	BC	13,60	a	BC	8,21	a	CE	8,03	c	CD	19,04	bc	B	3,40	a	D	11,83	ab	BC	37,33	b	A	14,48	b
Açominas AF	14,41	bc	BC	15,22	a	BC	12,19	a	C	13,11	bc	C	20,80	bc	B	3,44	a	D	17,16	a	BC	52,23	a	A	18,57	a
Acesita I AF	15,51	ac	BC	16,40	a	BC	7,05	a	DE	10,93	bc	CE	18,77	bc	B	3,59	a	E	12,66	ab	BD	51,88	a	A	17,10	ab
Silifertil LD	15,63	ac	B	15,04	a	B	10,22	a	BC	14,29	bc	B	24,93	ac	A	4,63	a	C	13,77	ab	B	28,52	ce	A	15,88	b
CSN LD	13,25	c	CD	13,74	a	CD	8,08	a	DE	15,87	ab	BC	22,40	ab	B	5,07	a	E	12,52	ab	CD	39,21	b	A	16,27	ab
Escória de fósforo	18,83	ac	BC	15,18	a	BD	7,05	a	EF	13,04	bc	CE	21,52	b	B	5,31	a	F	8,72	b	DF	34,74	bc	A	15,55	b
Escória de aço inox	21,64	ab	AB	14,32	a	BD	7,48	a	D	16,60	ab	BC	20,36	bc	AB	7,97	a	D	9,69	ab	CD	25,00	d	A	15,38	b
Sílica Gel	22,31	a	A	11,80	a	BC	6,76	a	C	14,49	bc	B	13,87	c	BC	7,92	a	BC	10,10	ab	BC	28,99	cd	A	14,53	b
Média	16,82		C	14,40		C	8,84		E	14,37		C	21,24		B	5,12		F	11,56		D	35,48		A		
	LVdf																									
	----- mg dm ⁻³ -----																									
Testemunha	16,29	b	BC	15,00	a	BC	12,70	a	C	21,67	a	B	29,77	a	A	4,77	a	D	10,31	a	CD	32,87	bc	A	17,92	ab
Wollastonita	17,72	b	B	17,61	a	B	11,63	a	BC	11,13	b	BC	26,14	ab	A	4,72	a	C	13,35	a	B	31,93	bc	A	16,78	ac
Açominas AF	14,74	b	BC	14,55	a	BC	10,30	a	CD	16,40	ab	BC	20,14	b	B	4,03	a	D	15,15	a	BC	52,82	a	A	18,52	a
Acesita I AF	16,18	b	BC	16,31	a	BC	8,47	a	DE	11,20	b	CD	21,19	b	B	3,69	a	E	12,24	a	CD	50,47	a	A	17,47	ab
Silifertil LD	14,74	b	BC	12,48	a	CD	7,05	a	D	11,92	b	CD	22,12	b	B	5,17	a	D	14,67	a	C	29,70	c	A	14,73	c
CSN LD	18,50	b	BC	14,86	a	CD	8,25	a	DE	15,94	ab	C	25,04	ab	B	5,86	a	E	13,07	a	CE	37,21	b	A	17,34	ac
Escória de fósforo	19,71	b	BC	15,04	a	BD	7,27	a	E	13,17	b	CE	20,86	b	B	6,79	a	E	10,45	a	DE	30,64	bc	A	15,49	bc
Escória de aço inox	21,97	b	BC	14,46	a	DE	10,95	a	DE	16,33	ab	CD	27,30	ab	AB	7,48	a	E	10,17	a	DE	29,93	bc	A	17,32	ac
Sílica Gel	29,82	a	A	15,31	a	BD	9,79	a	D	17,32	ab	BC	20,80	b	B	9,15	a	D	11,41	a	CD	33,57	bc	A	18,40	a
Média	18,85		C	15,07		D	9,60		F	15,01		D	23,71		B	5,74		G	12,31		E	36,57		A		

Continuação da tabela 11...

Média																										
----- mg dm ⁻³ -----																										
Testemunha	16,63	bd	C	14,08	a	C	13,30	a	CD	21,03	a	B	30,53	a	A	3,80	b	E	9,84	b	D	30,11	e	A	17,41	bc
Wollastonita	14,24	d	CD	14,67	a	C	10,79	ab	D	14,19	b	CD	23,21	b	B	3,80	b	E	11,07	ab	CD	40,38	d	A	16,54	cd
Açominas AF	14,37	d	CD	15,37	a	C	10,81	ab	D	13,60	b	CD	21,10	bc	B	3,22	b	E	13,37	ab	CD	56,58	a	A	18,55	ab
Acesita I AF	17,41	bd	BC	16,00	a	CD	8,99	bc	E	15,13	b	CD	21,16	bc	B	3,00	b	F	12,82	ab	D	55,67	a	A	18,77	a
Silifertil LD	15,55	bd	C	14,53	a	C	9,28	bc	D	13,02	b	C	23,21	b	B	4,15	ab	E	13,94	a	C	34,30	d	A	15,99	de
CSN LD	14,63	bc	C	13,30	a	C	7,49	bc	D	14,79	b	C	21,92	bc	B	4,85	ab	D	12,69	ab	C	38,12	bc	A	15,97	de
Escória de fósforo	18,26	bc	B	14,32	a	C	6,99	c	EF	14,21	b	CD	21,42	bc	B	5,41	ab	F	10,53	ab	DE	37,80	bd	A	16,12	ce
Escória de aço inox	19,39	b	B	14,72	a	C	7,96	bc	E	13,40	b	CD	19,96	bc	B	6,52	ab	E	10,07	e	DE	27,67	e	A	14,96	e
Sílica Gel	25,76	a	B	13,88	a	DE	8,40	bc	F	15,21	b	CD	18,67	c	C	7,73	a	F	11,05	ef	EF	36,33	cd	A	17,13	cd
Média Geral	17,36		C	14,54		D	9,33		F	14,95		D	22,35		B	4,72		G	11,71		E	39,66		A		

Letras minúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na coluna. Letras maiúsculas semelhantes indicam que não há diferenças entre os tratamentos na linha, a nível de 5% de significância.

CXd: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico; RQo: NEOSSOLO QUARTZARENICO Ortico; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférico; LVdf: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico.

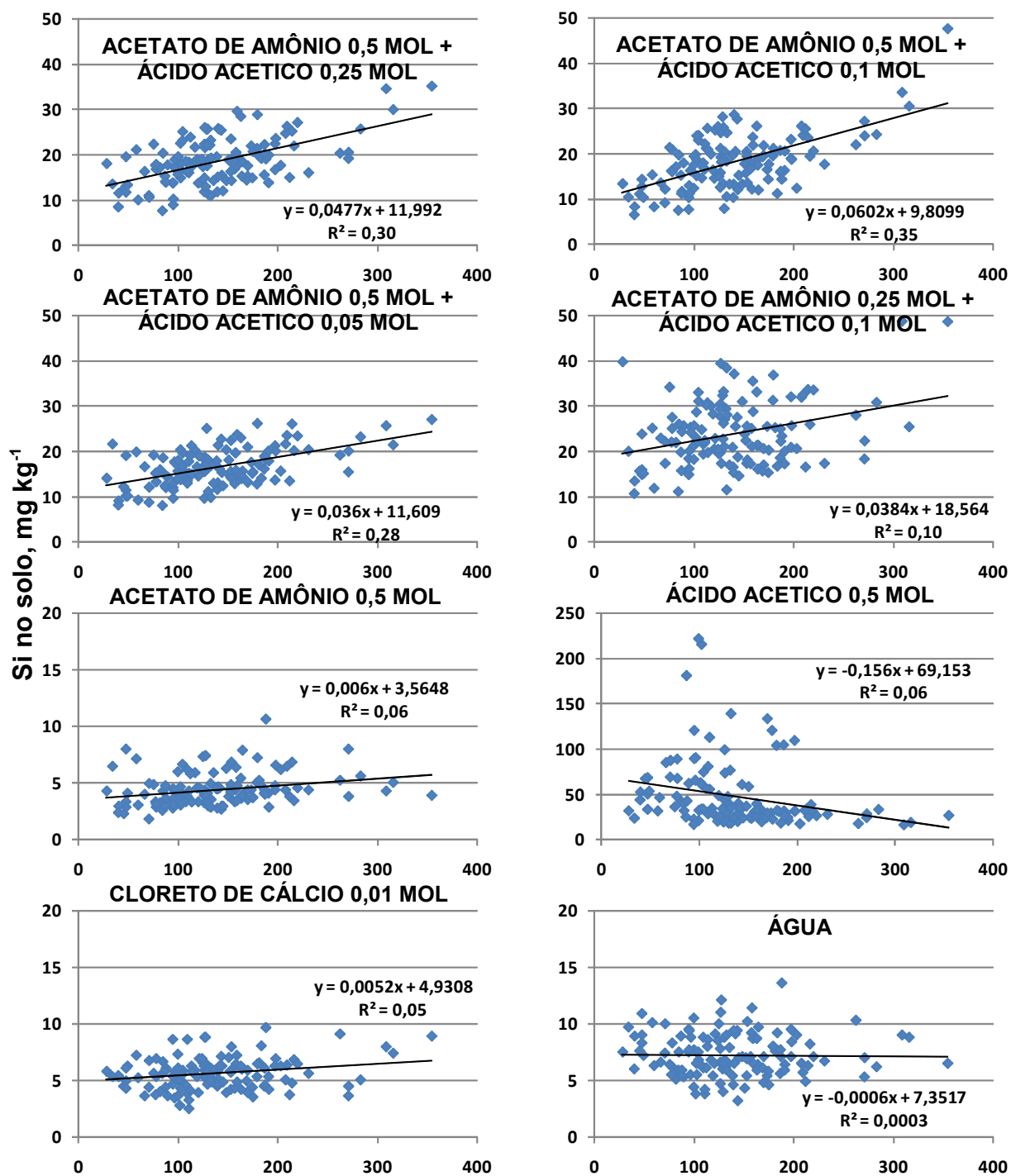
Também para o solo Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), o extrator 8 foi o melhor em relação à média dos extratores. Neste solo, as fontes utilizadas não diferiram entre si para os extratores 2, 3, 6 e 7. Porém, pode-se perceber que quando utilizado o extrator 1, a Sílica Gel foi a fonte que mais liberou S para o solo. Caso semelhante pode ser observado para o extrator 8, onde Açominas AF e Acesita I AF apresentaram os melhores resultados. Na média geral das fontes para esse solo (LVdf), as fontes Açominas AF e Sílica Gel foram as que liberaram as maiores quantidades de S para o solo.

Em relação a média geral dos solos, o extrator 8 foi considerado o melhor, visto que as maiores concentrações de S foram obtidas quando se fez uso deste. Observou-se que as fontes que mais se destacaram para esse extrator 8 foram Açominas AF e Acesita I AF. A fonte Sílica Gel foi a que disponibilizou as maiores quantidades de S para o solo quando os extratores 1 e 6 foram utilizados. Para o extrator 7, a Silifertil LD foi a fonte que mais se destacou. De modo geral, a Acesita I AF se sobressaiu na média entre as diferentes fontes, apresentando os maiores teores de Si do enxofre aplicado ao solo. Já a Escória de Aço inox foi a fonte menos eficiente.

Avaliando a correlação entre a extração de silício pela cultura de arroz e os diferentes extratores no solo, observa-se na Figura 1, que a extração de Si pelo Cloreto de Cálcio 0,01mol e a água apresentaram as menores correlações entre todos os extratores testados ($R^2 = 0,05$ e $0,0003$ respectivamente). Em razão de sua baixa extração, este extrator não apresentou uma boa distribuição dos pontos, demonstrando uma faixa muito estreita de valores, o que dificulta o estabelecimento de classes de interpretação e, conseqüentemente, aumenta a probabilidade de erros analíticos.

Os extratores Acetato de Amônio e Ácido Acético, quando associados para formação de um único extrator, apresentaram boa dispersão dos pontos na correlação entre o teor de Si das plantas de arroz e o determinado no solo, para as diferentes concentrações de cada extrator, o que indica uma melhor discriminação entre o menor e o maior valor de Si encontrado no solo.

Berthelsen e Korndörfer (2005) revisaram vários trabalhos sobre Si no solo e verificaram que muitos extratores apresentam excelentes curvas de respostas com Si acumulado pelas plantas, porém, após adições de Silicatos nesses solos, alguns extratores passaram a superestimar a disponibilidade de Si.



Si acumulado na área de planta de arroz (mg kg⁻¹)

FIGURA 1. Correlação entre a concentração do Si recuperado no solo pelos diferentes extratores com o Si extraído pela parte aérea da cultura do arroz (mg Kg⁻¹).

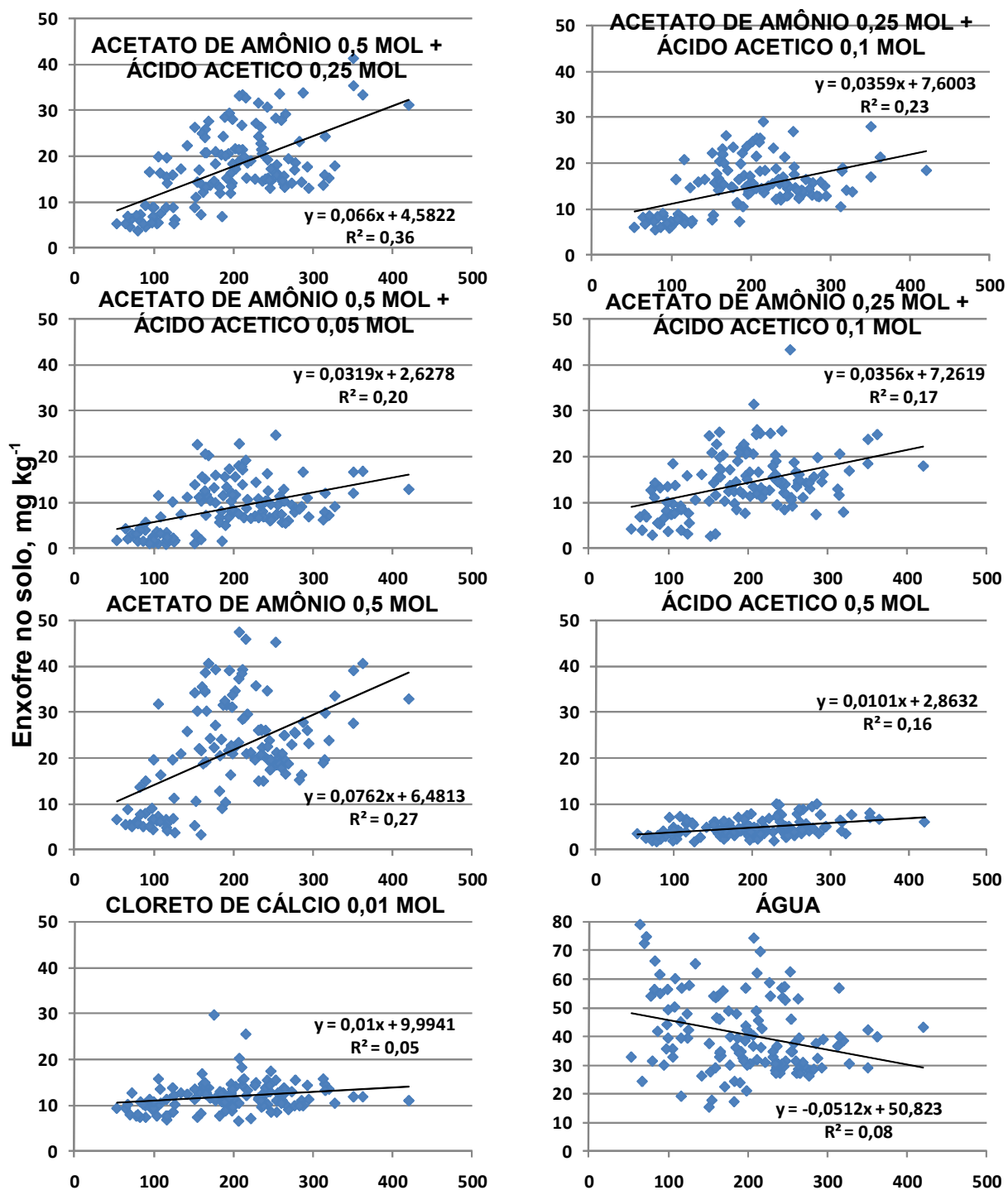
Os extratores de Si, Ácido Acético 0,25 mol e Ácido Acético 0,1mol dm⁻³, quando combinados com o Acetato de Amônio 0,5 mol dm⁻³, foram capazes de

extrair as maiores quantidades de Si disponível no solo, obtendo correlações positivas, isto é, quanto maior a concentração de Si no solo, maior foi o Si acumulado nas plantas de arroz.

Apesar disso, percebe-se que o extrator Acetato de Amônio 0,5 mol + Ácido Acético 0,1 mol ($R^2 = 0,35$) foi mais eficiente que o Ácido Acético 0,25 mol ($R^2 = 0,30$) para analisar o Si disponível (Figura 1). 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.

Dessa forma, independentemente da solução utilizada, considera-se necessário que ela apresente correlação satisfatória entre o silício extraído e aquele absorvido pelas plantas. A solução de Ácido Acético foi a mais utilizada no Brasil (KORNDÖRFER et al.1999), mas alguns trabalhos têm mostrado que o pH pode influenciar de forma negativa, resultando em valores extraídos maiores que os realmente disponíveis às plantas (CAMARGO, 2003). Conforme relatado por Vidal (2003), o extrator Cloreto de Cálcio ($0,01 \text{ Mol L}^{-1}$) pode apresentar maiores correlações entre o silício extraído no solo e a quantidade de silício absorvida pela planta teste, porém ainda são necessários mais estudos sobre o assunto.

Através da correlação entre a concentração de enxofre recuperado no solo pelos diferentes extratores, e o enxofre extraído pela parte aérea das plantas de arroz (Figura 2), pode-se perceber que o extrator Acetato de Amônio 0,5 mol + Ácido Acético 0,25 mol extraiu os maiores teores de S ($R^2 = 0,36$), enquanto que o Cloreto de Cálcio foi o que apresentou a menor extração ($R^2 = 0,05$). Essa amplitude influencia a exatidão da análise, pois a faixa estreita de extração do Cloreto de Cálcio pode promover erros de análises. Porém, para as várias concentrações de Acetato de Amônio e Ácido Acético, as correlações foram positivas, demonstrando uma boa capacidade de extração de S, tanto do solo, quanto da parte aérea das plantas de arroz. Esses extratores apresentaram extração na faixa de 2 a 10 mg de S por quilograma de solo, e apresentaram amplitude intermediária entre o Acetato de Amônio 0,5 mol e o Ácido Acético 0,5 mol, quando utilizados isoladamente.



S acumulado na área de planta de arroz (mg kg⁻¹)

FIGURA 2. Correlação entre a concentração de enxofre recuperado no solo pelos diferentes extratores com o enxofre extraído pela parte aérea da cultura do arroz (mg kg⁻¹).

De acordo com Liang et. al. (1994), o método do Acetato de Sódio tamponado, ainda responde à aplicação de fertilizantes. Possivelmente, em solos calcários, o método do Acetato tamponado superestima a quantidade de Si disponível nestas condições. Em geral, para solos tropicais (ácidos), o uso do Acetato de Sódio tamponado para extrair Si e para determinar a sua necessidade em arroz, não tem sido intensivamente estudado.

CONCLUSÕES

Nas condições de realização do experimento pode-se concluir que a Acesita I AF foi a fonte menos eficiente no fornecimento de silício e enxofre para a cultura do arroz. A Sílica Gel foi o tratamento com maior teor foliar de silício na parte aérea das plantas de arroz. A associação entre Acetato de Amônio e Ácido Acético apresentou-se promissora na determinação do Si, demonstrando até o momento, que é possível desenvolver um método usando o mesmo extrator para o silício e enxofre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, R. **Development of silicon technology for saline agriculture**. Karachi: Pakistan Atomic Energy Commission, 1987.
- ALEXANDER, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 467 p.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a aproximação**. Viçosa, p. 25-32. 1999.
- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. de F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 595-644. 2007.
- ALTAFIN, V. L.; POLONIO, W.; MEDEIROS, G. A.; BRANDÃO, M. F.; ZUIN, F. D.; BUSCARATO, E. A.; MENEZES, M. O. Utilização de lodo de fosfatização na produção de mudas de espécies nativas. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 1, n. 1, p. 45-50, 2005. Disponível em: <<http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=12>>. Acesso em: novembro de 2010.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; ELLIOTT, C. L.; DATNOFF, L. E. Evaluation of soil test procedures for determining rice-available silicon. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 11&12, p. 1779-1792, 2001.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; ELLIOTT, C. L.; DATNOFF, L. E.; PRABHU, A. S.; SILVA, O. F.; KORNDORFER, G. H. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FERTIBIO, Caxambu. Anais... Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.57. 1998.
- BRADBURY, M.; AHMAD, R. The effect of silicon on the growth of *Prosopis juliflora* in saline soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 125, n.1, p.71-74, Jun. 1990.
- BRASIL. **Decreto N° 2954**. Aprova o regulamento da lei n° 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. Brasília, 14 jan. 2004.
- CARVALHO, R.; NETO, A.E.F.; CURI, N.; RESENDE, A.V. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em Latossolo e Cambissolo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.3, p.491-500, 2003.

- COELHO, P.E. Da escória ao vidro. **Revista Limpeza Pública**, v.49, p.36-45, 1998.
- COLEMAN,R. The importance of sulfur as a plant nutrient in the world crop production. **Soil Science**, v.101, p.230-239, 1996.
- DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; ZINDER, G. H.; MARTÍN, F. Silicon concentration disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. **Crop Science**, v.34, p.733-737, 1994.
- ELGAWHARY, S. M.; LINDSAY, W. L. Solubility of sílica in soil. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.36, n.3, p.430-433, 1972.
- ELLIOTT & 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.
- EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. Journal of Inorganic Biochemistry, v.69, p.139- 144, 1998.
- FRITZ, G.F. Mineral nutrition. In: NOGLE, G. & FRITZ, G.F. Introductory Plant Physiology. **Prentice-Hall. Inc: Englew Hood Cliffs**, New Jersey, p.223-271.1976.
- FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ V.,V.H.; NOVAIS, R.F. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras: I. Casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, 21: 27-34, 1997.
- FONTES,M. P.F; NOVAIS, R. F.;ALVAREZ, V.H.; BORGES,A .C. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em Latossolo de Minas Gerais. **R. bras. Ci. Solo**, v.6, p.125-130, 1982.
- FOX, R. L.; SILVA, J. A. Symptoms of plant malnutrition silicon an ergonomically essential nutrient for sugarcane. Hawaii: University of Hawaii, 85p. 1978.
- HEINEN, W.; OEHLER, J. H. Evolutionary aspects of biological involvement in the cycling of silica. In: Trudinger, P. A.; Swaine, D. J. (ed.). Biogeochemical cycling of mineral-farming elements. Amsterdam: Elsevier, p.431-441. 1979.
- JOHNSON, A.M.; NISHITA, H. Microestimation of Sulfur in Plant Materials, Soils and Irrigation waters. **Analytical Chemistry**, v.24, n.4, p. 736-742, 1952.
- JONES, L.H.P. and HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.107-149, 1975.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- KORNDÖRFER, G. H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and yield. In: DATNOFF, L. E.; KORNDORFER, G. H.; SNYDER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam:Elsevier, p.133-147. 2001.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLA, A. **Análise de silício: solo, planta**

e fertilizante. Uberlândia:GPSi-ICIAG-UFU, 34p.(Boletim Técnico n02). 2004.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; UCHOA, G.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, n.7, p.1071-1084, 2001.

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

KORNDÖRFER, G.H.; GASCHO, G.J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARROZ IRRIGADO, 1., Pelotas. **Anais...** Pelotas, 1999. p.313-316, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and yield. In: DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, p.133-147. 2001.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 53p. (Boletim técnico, 1). 2003.

LEITE, P.C. **Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Viçosa: UFV, 1997. 87 p. Tese de Doutorado.

LIANG, Y.; SHEN, Q.; SHEN, Z.; MA, T. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.19, n.1, p.173-183, 1996.

LIMA FILHO, O.F. O silício e a resistência das plantas ao ataque de fungos patogênicos. Disponível em: <http://www.embrapa.br/noticias/artigos/folder.2005> - artigo *Review of recent research*. Revista IL RISO v.28, p.235-253, 2005. Acesso em 20/03/2009.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, p. 189-249. 2007.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **R. bras. Ci. Solo**. v.27, n.4, 2003.

NOJOSA, G.B.A. et al. Uso de fosfitos e silicatos na indução de resistência. In: CAVALCANTI, L.S. et al. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 263p. 2006.

OLIVEIRA, A.C.; HAHNE, H.; BARROS, N.F.; MORAIS, E.J. Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p.77-96. 1994.

PAPAROTTE, I.; CENTURION MACIEL, C. A. Efeitos do resíduo de gesso da indústria cerâmica sobre as propriedades químicas do solo. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 3, n. 1, p. 32-41, 2006. Disponível em: <<http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=43>>. Acesso em: novembro de 2010.

PAVAN, M.A.; BINGHAN, F.T. & PRATT, P.F. **Toxicity of aluminum to coffee in ultisols and oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃ and CaSO₄. 2H₂O**. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:1.201-1.207, 1982.

PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; MOURA, W.F.; CORREA, G.F. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.265- 274. 2003.

PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. de. Silicon sources for rice crop. **Scientia Agricola**, v.61, p.522-528, 2004.

PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C.; KORNDÖRFER, G. H. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. , v.42, p.239 - 247, 2007.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e na Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 74, n. 2, p. 235-242, 1999.

PULZ, A.L. Estresse hídrico e adubação silicatada em batata (*Solanum tuberosum* L.) cv. Bintje. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 56 p. 2007.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. VAN. **Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo**. R. bras. Ci. Solo, 6:189-194. 1982.

RAFI, M.M.; EPSTEIN, E.; FALK, R.H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal Plant Physiology**, London, v.151, p.497-501, 1997.

RAIJ, B. VAN & QUAGGIO, J.A. **Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, DF. 1984**. Anais...Brasília, EMBRAPA, 1984. p.323-347.

RAVEN, J.A. Silicon transport at the cell and tissue level. In: DATNOFF, L.E. et al. (Ed.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 403p. 2001.

SUMIDA, H. Silicon Supplying Capacity of Paddy Soils and Characteristics of Silicon Uptake by Rice Plants in Cool Regions in Japan. **Bulletin of Tohoku National Agricultural Experimental Station**. v.85, p.1-46. 1992.

VIRTA R.; "Wollastonite", **U.S. Geological Survey Minerals Yearbook** . 2002.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A.S.; SERRANO, C.G.E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 104p., 2008.

WERNER, D. & ROTH, R. Silica metabolism. *In*: Lauchli, A.; Bielecki, R. L. **Encyclopedia of plant physiology**. New Series, Berlin: Springer-Verlag, v.15, p.682-694, 1983.

ANEXOS

ANEXO I Quadro da análise de variância dos teores de silício

CAUSAS DA VARIACAO	G.L	S.Q	Q.M	VALOR F	PROB.>F
EXTRATOR	7	174775.4879294	24967.9268471	625.4061	0.00001
FONTE	8	15301.4290415	1912.6786302	47.9095	0.00001
SOLO	3	4950.7302332	1650.2434111	41.3359	0.00001
EXT*FON	56	112410.6398817	2007.3328550	50.2804	0.00001
EXT*SOL	21	10665.4358803	507.8778991	12.7215	0.00001
FON*SOL	24	3785.8183399	157.7424308	3.9512	0.00001
EXT*FON*SOL	168	18081.2336157	107.6263906	2.6959	0.00001
RESIDUO	864	34493.2516895	39.9227450		
TOTAL	1151	374464.0266113			

MEDIA GERAL = 17.011572

COEFICIENTE DE VARIACAO = 37.142 %

ANEXO II Quadro da análise de variância dos teores de enxofre.

CAUSAS DA VARIACAO	G.L	S.Q	Q.M	VALOR F	PROB.>F
EXTRATOR	7	113744.3268849	16249.189555	1086.5831	0.00001
FONTE	8	1622.4516961	202.8064620	13.5617	0.00001
SOLO	3	14534.8501048	4844.9500349	323.9817	0.00001
EXT*FON	56	16646.2652936	297.2547374	19.8774	0.00001
EXT*SOL	21	15831.7855096	753.8945481	50.4129	0.00001
FON*SOL	24	2504.5864512	104.3577688	6.9784	0.00001
EXT*FON*SOL	168	5529.8727969	32.9159095	2.2011	0.00001
RESIDUO	864	12920.5949237	14.9543923		
TOTAL	1151	183334.7336608			

MEDIA GERAL = 16.829115

COEFICIENTE DE VARIACAO = 22.979 %