

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE SILÍCIO E FÓSFORO EM AMOSTRAS DE SOLOS¹

MAYKOM FERREIRA INOCÊNCIO^{2*}, ROBSON SANTOS GUTIERREZ³, JOSÉ OSCAR NOVELINO⁴

RESUMO - O objetivo desse trabalho foi avaliar os dois métodos de extração de silício (Si) e dois de fósforo (P) em amostras de Latossolos cultivados com milho e sorgo. Os experimentos foram realizados em casa-de-vegetação, no delineamento inteiramente casualizado, sendo que para o milho o esquema fatorial 5x2x2, constituído por cinco doses de P (0; 96; 192; 288 e 480 mg dm⁻³), na ausência e na presença de 300 mg dm⁻³ de escória de siderurgia em dois Latossolos e quatro repetições, enquanto para o sorgo o delineamento experimental foi 5x2, sendo utilizado apenas um solo. As parcelas experimentais foram submetidas a dois períodos de incubação, o primeiro com escória (apenas metade das parcelas) e em seguida com calcário. No primeiro experimento foram cultivadas duas plantas de milho por vaso durante 45 dias e em seguida dez plantas de sorgo durante 60. Após os experimentos realizou-se a coleta das plantas, sendo avaliada a altura de plantas, o diâmetro do colmo e a matéria seca da parte aérea do milho e apenas a matéria seca da parte aérea do sorgo, os teores de Si e P nas amostras de solo e nas plantas. O solo de textura média apresentou melhores correlações de Si e P. O método de ácido acético (CH₃COOH) foi considerado o melhor para a extração de Si. Para o P tanto o método Olsen quanto o Mehlich 1 obtiveram boa correlação. O sorgo apresentou maiores coeficientes de correlação do que o milho.

Palavras-chave: *Zea mays*. *Sorghum bicolor*. Extratores químicos.

EVALUATION OF SILICON AND PHOSPHORUS METHODS EXTRACTION IN SAMPLE SOILS

ABSTRACT - The aim of this study was to evaluate silicon (Si) and two phosphorus (P) extraction methods in "Latossolos" under corn and sorghum. The experiments were conducted in green-house, in a completely randomized, with corn for the 5x2x2 factorial arrangement, consisting of five P rates (0, 96, 192, 288 and 480 mg dm⁻³) in the absence and the presence of 300 mg dm⁻³ of slag in two "Latossolos" and four replicates, while for sorghum the experimental design was 5x2, and is used only one soil. The experimental plots were subjected to two incubation periods, the first with slag (only half of the plot) and then with lime. In the first experiment two plants were cultivated corn pot for 45 days and then ten plants of sorghum for 60. After the experiments took place the collection of plants being evaluated for plant height, stem diameter and dry weight of maize shoots and just shoot dry matter of sorghum, the levels of Si and P in samples soil and plants. The medium texture soil showed better correlations of Si and P. For the Olsen P method as both the Mehlich 1 had good correlation. Sorghum showed higher correlation coefficients than corn.

Keywords: *Zea mays*. *Sorghum bicolor*. Chemical extractants.

*Autor para correspondência.

Recebido para publicação em 05/01/2010; aceito em 20/08/2010.

Parte do estudo do projeto de Dissertação do segundo autor. Apoio: CNPq e UFGD.

²Departamento de Ciência do Solo, UFLA, 37200-00, Lavras - MG; maykomagronomia@yahoo.com.br

³Mestre em Produção Vegetal, 79800-000, Dourados - MS; agrogrilo@yahoo.com.br

⁴Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD, 79800-000, Dourados - MS; jnovel@ufgd.edu.br

INTRODUÇÃO

O Silício (Si) é o segundo elemento químico mais frequente nos principais grupos de minerais formadores de rochas e solos que compõem a crosta terrestre (KOSKI-VAHALA et al., 2001). Embora a sua quantidade expressiva e sua relação com aumento da produção de algumas culturas, o Si não é considerado como nutriente às plantas, pelo fato de não atender o critério de essencialidade (KORNDÖRFER, 2006). Por isso, o Si foi pouco estudado e não se tem informações precisas de quais os melhores métodos para sua extração e determinação em solos brasileiros (KORNDÖRFER, 2004).

A falta de correlação de métodos de extração de Si com a produtividade tem dificultado aos pesquisadores estudar o papel desse elemento na nutrição mineral das plantas. As análises de Si tem como referência as soluções extratoras de CH_3COOH 0,5 mol L^{-1} e o CaCl_2 0,01 mol L^{-1} (Camargo et al., 2005). O extrator CH_3COOH é um ácido fraco capaz de extrair Si disponível para as plantas sem atacar de forma muito agressiva os minerais de argila, porém com a capacidade para solubilizar pequenas cadeias de Si polimerizada. Enquanto o extrator CaCl_2 é um sal com habilidade para extrair Si da solução do solo, podendo extrair também formas pouco polimerizadas de Si (KORNDÖRFER et al., 2004).

Na literatura ainda há dúvidas de qual é o melhor método extrator de Si (CAMARGO et al., 2007ab; PEREIRA et al., 2007; BORTOLON; GIANELLO, 2008). Porém, o teor de argila é o principal fator a ser considerado (KORNDÖRFER et al., 2004). Por exemplo, em solos argilosos há menor disponibilidade de Si e devido a interação com os colóides minerais do solo (BARBOSA FILHO, 2001; BORTOLON; GIANELLO, 2008). Outro aspecto a ser considerado é a disponibilidade de Si que é afetado pela aplicação de silicato (CAMARGO et al., 2007a) e calcário (CAMARGO et al., 2007b) que podem elevar os teores de Si extraído pelo CH_3COOH . Além da aplicação de silicato favorecer a maior disponibilidade de P às plantas, devido ao deslocamento do P pelo Si nos sítios de adsorção do macronutriente (CHAVES; FARIAS, 2008; PULZ et al., 2008)

Assim como o Si, o P apresenta discordâncias quanto os melhores métodos de extração, devido a diferenças entre os genótipos cultivados, os teores de argila e de matéria orgânica do solo (MALAVOLTA et al., 1997; LANA et al., 2004). Pesquisas têm apontando que os métodos Olsen e o Mehlich 1 apresentam boa correlação com os teores de P no solo (Silva et al., 2008). No entanto, ainda existem controvérsias com os métodos de extração (FARIAS et al., 2009). No caso de solos corrigidos com calcário, pode haver uma superestimação dos teores de P pelos métodos de extração ácidos (PALÁCIO et al., 2000). Enquanto que Gonçalves e Meurer (2009) e Simões Neto et al. (2009) encontraram que o Mehlich

1 apresentou a melhor estimativa de P no solo. No caso de solos com altos teores de P, não há diferença entre as soluções extratoras (SANTOS; KLIE-MANN, 2005; AMORIM et al., 2008).

Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de dois métodos de extração de Si (CH_3COOH e CaCl_2) e P (Olsen e Mehlich 1) em estimar a disponibilidade de Si e P no solo para as plantas de milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivadas em casa-de-vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em casa-de-vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, MS, com amostra de um Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa (LVDF) e um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média (LVDm), coletados na profundidade de 0 a 30 cm, secos ao ar, destorroados, passados em peneira com malhas de 2 mm de abertura e homogeneizados (Tabela 1). Os experimentos foram realizados em casa-de-vegetação, no delineamento inteiramente casualizado, sendo que para o milho o esquema fatorial $5 \times 2 \times 2$, constituído por cinco doses de P (0; 96; 192; 288 e 480 mg dm^{-3}), na ausência e na presença de 300 mg dm^{-3} de escória de siderurgia nos dois latossolos e quatro repetições, enquanto para o sorgo o delineamento experimental foi 5×2 , sendo utilizado apenas o LVDF. A fonte de P foi o fosfato monossódico, reagente analítico, enquanto a de Si foi uma escória de siderurgia com concentração de 78,1 g de Si kg^{-1} de escória.

Os tratamentos foram constituídos pela homogeneização de 300 mg dm^{-3} de escória de siderurgia, em 20 unidades experimentais de cada solo, representadas por vasos contendo 3,6 dm^3 de solo, juntamente com outras 20 unidades sem a adição do produto silicatado e foram incubadas em laboratório durante 20 dias com umidade de 80% da capacidade de campo. Em seguida as amostras foram submetidas a um novo período de 20 dias de incubação com carbonatos de cálcio (CaCO_3) e magnésio (MgCO_3) para o equilíbrio na relação 4:1 (cálcio: magnésio). Ao final do segundo período de incubação, houve a secagem ao ar, peneiramento (com malhas de 2 mm de abertura) e homogeneização das parcelas, e em cada subamostra de 3,5 dm^3 de solo recebeu uma adubação básica com os nutrientes num volume de 100 mL (Tabela 2) e em seguida as doses de P.

Inicialmente foram colocadas dez sementes de milho (*Zea mays* L.) em cada vaso de polietileno e após dez dias procedeu-se o desbaste, permanecendo as duas plantas mais vigorosas. A irrigação foi realizada diariamente com a restituição da água perdida pela evapotranspiração. Após 45 dias da semeadura, as plantas foram mensuradas quanto a altura e

Tabela 1. Características químicas e físicas das amostras de Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico (Dourados, MS).

Características do solo	Latossolo Vermelho Distroférico	Latossolo Vermelho Distrófico
Características químicas		
pH em água (1:2,5) ⁽¹⁾	4,60	4,30
pH emCaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹ ⁽²⁾	4,20	4,00
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	1,38	1,09
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	1,01	0,13
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,62	0,01
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,07	0,05
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	9,79	6,00
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	1,70	0,19
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	3,08	1,28
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	11,5	6,19
Saturação por Bases (V%)	15	3
Matéria orgânica (g kg ⁻¹) ⁽³⁾	33	17
P – Mehlich 1 (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	1,30	2,40
Características físicas		
Densidade do solo (kg dm ⁻³) ⁽³⁾	1,20	1,32
Densidade de partículas ⁽³⁾	2,90	2,61
Volume total de poros (dm ⁻³ dm ⁻³) ⁽³⁾	0,59	0,49
Argila (g kg ⁻¹) ⁽³⁾	720	250
Silte (g kg ⁻¹) ⁽³⁾	93	45
Areia (g kg ⁻¹) ⁽³⁾	187	705

⁽¹⁾ EMBRAPA (1997). ⁽²⁾ Raij e Quaggio (1983). ⁽³⁾ Tedesco et al. (1985).

o diâmetro do caule e em seguida cortadas a um centímetro da superfície do solo. O material vegetal foi submetido a lavagem em água corrente e destilada e colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir o peso constante. O material foi pesado em balança analítica para a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA). Em seguida da colheita das plantas, o solo de cada unidade experimental foi seco ao ar durante três dias, triturado e passado em peneira com malhas de 2,0 mm para a remoção das raízes do milho e reutilização do solo. Subamostras de solo foram retiradas de cada unidade experimental e analisadas quimicamente quanto ao Si e P e o restante do solo foi colocado nos respectivos vasos de polietileno para iniciar o segundo experimento.

O segundo estudo foi realizado com a cultura do sorgo no LVDf, onde foram semeadas em excesso as unidades reprodutivas (sementes) e após dez dias após a semeadura foi realizado o desbaste permanecendo as dez plantas mais vigorosas. Aos 60 dias

após o desbaste as plantas foram cortadas rente ao solo seguindo o mesmo procedimento do estudo com o milho, assim como a coleta da amostra de solo para as análises químicas. As plantas receberam apenas a adubação nitrogenada de base e cobertura (Tabela 2).

O material vegetal de cada espécie foi triturado em moinho tipo Willey e submetido às análises químicas de Si (KORNDÖRFER et al., 2004) e P (MALAVOLTA et al., 1997). Os teores de Si no solo foram extraídos com as soluções de CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹ e de CH₃COOH a 0,5 mol L⁻¹ (KORNDÖRFER et al., 2004) e os teores de P foram pelos métodos Olsen e Mehlich 1 (MALAVOLTA et al., 1997). O conteúdo de Si e P foram obtidos pela multiplicação do teor de cada elemento químico pela produção de matéria seca da parte aérea de milho e sorgo.

As análises de correlação entre os teores de Si e P do solo determinados após extração química com as soluções testadas e o acumulado na matéria seca da parte aérea, assim como o desempenho agrônômi-

Tabela 2. Tipo, doses aplicadas, fontes e quantidade de nutrientes utilizadas para a adubação básica de um Latossolo Vermelho distrófico textura média e um Latossolo Vermelho Distroférico textura argilosa (Dourados, MS).

Nutriente	Teor (mg dm ⁻³)	Fonte ⁽¹⁾
N	150	Uréia (44% N)
P	-	Fator de estudo (doses de P)
K	150	KCl (49,8% de K)
S	40,0	K ₂ SO ₄
B	0,81	Borosol - H ₃ BO ₃ (17% B)
Cu	1,33	Sulfato cúprico - CuSO ₄ 5H ₂ O (25% Cu)
Fe	1,55	Sulfato ferroso - FeSO ₄ 7H ₂ O (19% Fe e 12% S)
Mo	0,15	Molibdato de sódio - Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O (39% Mo)
Mn	2,44	Cloreto de manganês p.a. - MnCl ₂ 4H ₂ O (27,7% Mn)
Zn	4,00	Sulfato de zinco - ZnSO ₄ 7H ₂ O (20% Zn e 18% S)

¹ Reagentes p.a. (puro para análise).

co inicial da cultura do milho e do sorgo foram realizados pelo programa estatístico SigmaPlot 11.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de correlação entre os métodos de extração de Si e P nos dois Latossolos diferiram entre si para o milho (Tabela 3). Na ausência de escória de siderurgia, o extrator CaCl₂ apresentou correlação negativa com o acúmulo de Si nas plantas (r²: -0,70**) e no acúmulo de P (r²: -0,53*). Os dois extratores obtiveram correlação com a MSPA, sendo negativa para o LVDf (r²: -0,60**) e positiva para o

LVDm (r²: 0,47*). Enquanto para o CH₃COOH apenas para o LVDm houve correlação positiva com a MSPA (r²: 0,61**), o teor de Si (r²: 0,60**), o acúmulo de Si (r²: 0,58**) e o teor de P (r²: -0,60**). Para os teores de P na ausência de aplicação de escória de siderurgia, o método Olsen não foi significativo no LVDf enquanto para o LVDm houve correlação para a MSPA (r²: 0,62**), teor de Si (r²: 0,59**), acúmulo de Si (r²: -0,70**), teor de P (r²: -0,52*). O extrator Mehlich 1 apresentou correlação para o teor de P do LVDf (r²: 0,46*) e para o LVDm (r²: -0,63**) e para o segundo solo também correlacionou com o acúmulo de Si (r²: 0,46*).

Tabela 3. Estudo de correlação de silício (Si) e fósforo (P) em milho safrinha (*Zea mays* L.) fertilizada com fosfato e silicato em amostras de um Latossolo Vermelho Distroférico (LVDf) e um Latossolo Vermelho Distrófico (LVDm) (Dourados,

CASilício.....			Fósforo.....			
	Cloreto de cálcio		Ácido acético		Olsen		Mehlich 1	
	LVDf	LVDm	LVDf	LVDm	LVDf	LVDm	LVDf	LVDm
	0 mg dm ⁻³							
AP	-0,39 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,24 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,10 ^{ns}
DC	-0,47*	0,10 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,03 ^{ns}
MS	-0,60**	0,47*	0,24 ^{ns}	0,61**	0,18 ^{ns}	0,62**	0,04 ^{ns}	0,34 ^{ns}
TSi	-0,01 ^{ns}	0,53*	0,28 ^{ns}	0,60**	-0,16 ^{ns}	0,59**	0,42***	0,34 ^{ns}
ASi	-0,70**	0,53**	0,16 ^{ns}	0,58**	0,06 ^{ns}	0,69**	0,23 ^{ns}	0,46*
TP	0,09 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,60**	0,36 ^{ns}	-0,52*	0,46*	-0,63**
AP	-0,53*	0,05 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,26 ^{ns}
	300 mg dm ⁻³							
AP	-0,59**	0,52*	0,26 ^{ns}	0,53*	-0,06 ^{ns}	0,60**	0,67**	0,57**
DC	-0,65**	0,47*	0,16 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,46*	0,53*	0,48*
MS	-0,66**	0,38 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,60**	0,18 ^{ns}
TSi	0,34 ^{ns}	0,73**	-0,46*	0,35 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,54*	0,44*	0,80**
ASi	-0,71**	0,73**	0,10 ^{ns}	0,50*	-0,05 ^{ns}	0,59**	0,58**	0,85**
TP	0,02 ^{ns}	-0,44*	0,25 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,51*	0,10 ^{ns}	-0,48*
AP	-0,53*	0,14 ^{ns}	0,28 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,53*	0,19 ^{ns}
	Na média das doses de escória agrícola							
AP	-0,25 ^{ns}	0,55**	0,14 ^{ns}	0,66**	0,05 ^{ns}	0,64**	0,31*	0,64**
DC	-0,33*	0,37*	0,07 ^{ns}	0,35*	0,04 ^{ns}	0,44**	0,30 ^{ns}	0,39*
MS	-0,38*	0,51**	0,16 ^{ns}	0,57**	0,02 ^{ns}	0,45**	0,30 ^{ns}	0,47**
TSi	0,68**	0,76**	-0,61**	0,68**	0,42**	0,71**	0,41**	0,81**
ASi	0,19 ^{ns}	0,79**	-0,38*	0,76**	0,30 ^{ns}	0,76**	0,60**	0,86**
TP	-0,08 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,41**	0,21 ^{ns}	-0,30 ^{ns}
AP	-0,34*	0,46**	0,19 ^{ns}	0,41**	0,06 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,31*	0,48**

^{ns} ; * e **: não significativo, significativo a 5 e 1%, respectivamente. CA: características avaliadas; AP: altura de plantas; DC: diâmetro do colmo; MS: matéria seca da parte aérea; TSi: teor de silício; ASi: acúmulo de silício; TP: teor de fósforo e AP: acúmulo de fósforo.

Com a aplicação de escória de siderurgia (300 mg dm⁻³), houve melhoria nos coeficientes de correlação para os dois solos no extrator CaCl₂, enquanto para o CH₃COOH apenas o teor de Si no LVDf (r^2 : 0,46^{*}) e o acúmulo de Si no LVDm (r^2 : 0,50^{*}). Os teores de P na planta apresentaram melhor correlação com o método de extração Mehlich 1, enquanto o Olsen correlacionou apenas com o LVDm.

Quando se realizou o estudo de correlação na média das doses de escória de siderurgia, LVDm obteve-se as melhores correlações nos dois extratores. Os melhores coeficientes de correlação para P também foram alcançados pelo LVDm independente do extrator, enquanto para o LVDf apenas correlacionou com o Mehlich 1. O Mehlich 1 também apresentou correlação no LVDm com os teores (r^2 : 0,81^{**}) e acúmulos de Si (r^2 : 0,86^{**}) e para o LVDf com teores (r^2 : 0,41^{**}) e acúmulos de Si (r^2 : 0,60^{**}). O método Olsen teve correlação com todas as características avaliadas no LVDm, enquanto para o LVDf apenas o teor e acúmulo de Si obtiveram correlação. O baixo coeficiente de correlação encontrado para os Latossolos para o método do CH₃COOH se deve a menor presença de Si disponível, devido ao alto processo pedogenético ocorrido nesses solos, permanecendo formas indisponíveis de Si para as plantas, que podem ter sido solubilizados pelo poder ácido do extrator (BARBOSA FILHO, 2001). Porém com a aplicação de calcário pode aumentar o Si extraído pelo CH₃COOH independente da fração argila (CAMARGO et al., 2007b).

O aumento dos teores de Si nos solos estudados, devido a aplicação de 300 mg dm⁻³ de escória de siderurgia (CAMARGO et al., 2007a), promoveu aumento na correlação, principalmente no método do CaCl₂. Camargo et al. (2007b) avaliando os teores de Si em solos muito intemperizados do Cerrado com diferentes mineralogias, obteve que o CH₃COOH 0,5 mol L⁻¹ extraiu mais Si em relação à água e CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. Os mesmos autores encontraram maiores teores de Si nos solos com maior quantidade de argilas de baixa atividade química e maior no horizonte B do que no A.

Na média das doses de escória de siderurgia, a maior parte do P permaneceu na forma lábil e pode ser extraída. Com exceção do método Olsen para o LVDf, obteve-se correlação entre as características avaliadas (Tabela 3) quando se aplicou escória de siderurgia. Esse resultado está de acordo com Pulz et al. (2008), onde plantas de batata absorveram maior quantidade de P quando foi aplicado o silicato de cálcio e magnésio, em vez do calcário. Nas características morfológicas das plantas de milho (altura de plantas, diâmetro do caule e MSPA) observou-se correlação para o método do CaCl₂ no LVDf na ausência e para os dois solos na presença de escória de siderurgia. No caso do CH₃COOH apenas para o LVDm na ausência de adubação silicatada. A relação foi negativa, pois o solo foi coletado após o crescimento vegetativo e indica que a plantas

utilizaram o Si presente no solo para o seu desenvolvimento (KOSKI-VAHALA et al., 2001).

O CaCl₂ foi melhor na determinação de Si no LVDm do que no LVDf (Tabela 3), provavelmente pelo seu método de extração, baseado no Si presente na solução do solo (KORNDÖRFER et al., 2004). Esse solo possui altos teores de areia e baixos teores de argila (Tabela 1), sendo essa última fração a responsável pela adsorção do Si no solo (BORTOLON; GIANELLO, 2008). Com isso o Si presente no LVDm permanece na sua maior parte na solução do solo, passível de ser determinado pelo extrator CaCl₂. O contrário acontece para o LVDf que adsorve o Si pelos sesquióxidos de ferro e alumínio. O mesmo aconteceu para o extrator CH₃COOH, que não obtiveram correlação para o LVDf (PEREIRA et al., 2004). Provavelmente a extração de Si foi realizada de maneira não uniforme pelo extrator e causou resultados muito diferentes, comprometendo a análise estatística. Em contraposição, a extração de Si foi praticamente completa, devido à baixa resistência do solo ao extrator CH₃COOH. Korndorfer et al. (1999) identificam o baixo coeficiente de determinação para o extrator CaCl₂, principalmente em solos com baixa concentração de Si. As diferenças encontradas entre esses extratores são atribuídas à ação em diferentes componentes da matriz do solo.

Os valores encontrados na Tabela 3 diferem dos encontrados por Ramos et al. (2008), onde observaram maiores quantidades de Si extraído na cultura do arroz em relação ao CH₃COOH e cujo coeficiente de correlação foi superior (r^2 : 0,87) em relação ao CaCl₂ (r^2 : 0,76) para o mesmo tipo de solo. Os autores concluíram que embora o CH₃COOH tivesse uma melhor correlação entre o Si do solo e o acumulado nas plantas. Para Pereira et al. (2007) o extrator CaCl₂ embora tenha extraído uma menor quantidade de Si, obteve-se melhor coeficiente de correlação (r^2 : 0,81) quando avaliado para a cultura do arroz irrigado. O extrator CH₃COOH promoveu a remoção de Si de fontes não solúveis. Camargo et al. (2005) concluem que o CH₃COOH possui limitações na determinação de Si devido a menor extração em solos corrigidos e argilosos. Embora muitos trabalhos afirmassem as vantagens do uso do método do CH₃COOH para a determinação de Si, Korndorfer et al. (1999) concluíram que o método estimou com maior confiabilidade os teores de Si disponível para a cultura do arroz no sistema de arroz de sequeiro, devido ao alto coeficiente de correlação do Si no solo e na biomassa da parte aérea (r^2 : 0,89).

Para os teores de P, o método Olsen foi não significativo para o LVDf enquanto para o LVDm obteve coeficientes de correlação negativo. Mas é explicado pelo teor de argila no solo avaliado interfere diretamente na determinação do nutriente (MALAVOLTA et al, 1997; BORTOLON; GIANELLO, 2008). O extrator Mehlich 1 foi mediana-

mente eficiente na determinação de P, embora se correlacionou muito bem com os teores e acúmulos de Si na dose de 300 mg dm⁻³ e na média das doses de escória de siderurgia (Tabela 3).

Com a aplicação de escória de siderurgia (300 mg dm⁻³), provavelmente houve a substituição do P pelo Si nos sítios de adsorção (óxidos de ferro e alumínio), acarretando maior disponibilidade do P as plantas (CHAVES; FARIAS, 2008). Possivelmente houve correlação positiva de P com as características avaliadas (Tabela 3) com a aplicação de escória de siderurgia, o mesmo não foi obtido pela ausência da adubação silicatada.

O método Olsen extraiu mais P no solo fertilizado com escória de siderurgia (dados não apresentados), porém a diferença dos teores iniciais foi mais estreita sendo de 12,17 mg dm⁻³ na ausência e 14,23 mg dm⁻³ na presença de escória de siderurgia, com aumento de 17%. O método Olsen tem uma capacidade maior de extrair P, pois além de extrair suas formas solúveis, também tem a capacidade de quebrar ligações entre o P e os colóides do solo, extraindo assim formas não-lábeis (MALAVOLTA et al., 1997). Na literatura, destaca-se como melhor extrator para solos com altos teores de argila, como o LVDf, o método do Mehlich 1. Os resultados mostram que este extraiu mais P que os métodos de Olsen e a resina, porém a melhor correlação com a resposta do arroz às fontes e doses de P, deu-se com o extrator Olsen. O estudo de Silva et al. (2008) também concluiu a boa precisão do método Olsen na determinação de P, porém com eficiência semelhante ao do Mehlich 1 para arroz em solos de várzea do Rio Grande do Sul para o mesmo tipo de solo.

Nesse estudo o solo é pouco intemperizado (Ki: 1,70) e com taxa de desorção de P elevado sendo a caulinita o filossilicato predominante na fração argila. A ocorrência de aumento linear para conteúdo nas plantas de Si em função de doses de P (dados não apresentados) sugere a ação do P adicionado como fertilizante no deslocamento de Si de sítios de adsorção na fase sólida para a solução do solo e, conseqüentemente, maior absorção pelas plantas (KORNDÖRFER et al., 2004). Em estudo sobre calibração de métodos de extração de P realizado por Schindwein e Gianello (2008) no sistema de plantio direto, concluíram que os melhores coeficientes de correlação entre os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina e os teores de P na planta e a produtividade de soja, milho e trigo foram quando separou os solos pela mineralogia e para a profundidade de 0-10 cm. A melhor correlação nessa profundidade pode ser pelo fato de haver menor contato com os sítios de adsorção de fosfato, havendo maior quantidade de P na forma lábil, prontamente disponível as plantas (BORTOLON; GIANELLO, 2008; FARIAS et al., 2009).

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da análise de correlação de Pearson para a MSPA, teor e acúmulo de P e Si em LVDf para a cultura do sorgo cultivado em sequência ao milho fertilizado com silicato e fosfato. Cultivou-se o sorgo apenas no LVDf, pois no LVDm a quantidade de nutrientes disponíveis no solo eram muito baixas, devido a alta taxa de absorção do primeiro cultivo, o que não promoveria o crescimento adequado da cultura e poderia interferir na absorção de P e Si e nas correlações de Pearson.

Tabela 4. Estudo de correlação de silício (Si) e fósforo (P) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) fertilizada com fosfato e escória de siderurgia em amostras de um Latossolo Vermelho Distroférico (Dourados, MS).

Características avaliadasSilício.....	Fósforo.....	
	Cloreto de cálcio	Ácido acético	Olsen	Mehlich 1
0 g mg dm ⁻³ de escória de siderurgia				
MSPA	0,42 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,50*	0,45*
Teor de Si	0,10 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Acúmulo de Si	0,39 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	0,52*	0,54*
Teor de P	0,50*	-0,26 ^{ns}	0,59**	0,51*
Acúmulo de P	0,51*	-0,20 ^{ns}	0,61**	0,51*
300 g mg dm ⁻³ de escória de siderurgia				
MSPA	0,39 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,43*	0,25 ^{ns}
Teor de Si	-0,13 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
Acúmulo de Si	0,37*	0,43***	0,33 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Teor de P	0,60**	0,35 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,61**
Acúmulo de P	0,66**	0,41 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,62**
Na média das doses de escória de siderurgia				
MSPA	0,52**	0,41**	0,65**	0,44**
Teor de Si	0,28 ^{ns}	0,36*	0,48**	0,32*
Acúmulo de Si	0,49**	0,51**	0,70**	0,46**
Teor de P	0,51**	0,05 ^{ns}	0,38*	0,52**
Acúmulo de P	0,60**	0,21 ^{ns}	0,51**	0,57**

^{ns}, ***, * e **: não significativo, significativo a 10, 5 e 1%, respectivamente. MSPA: matéria seca da parte aérea.

Na ausência da fertilização com escória de siderurgia (Tabela 4), o CH_3COOH não apresentou correlação significativa para os teores de Si na MSPA do sorgo. Enquanto o CaCl_2 apresentou significância a 5% para teores (r^2 : 0,50*) e acúmulos de P (r^2 : 0,51*). Para o P, os dois métodos avaliados (Olsen e Mehlich 1) apresentaram boa correlação com todas as características, exceto para os teores de Si. Com aplicação de escória de siderurgia (300 mg dm^{-3}), os teores de P e Si extraídos com CaCl_2 correlacionaram-se com o acúmulo de Si (r^2 : 0,37*) e também com os teores (r^2 : 0,60**) e acúmulos de P (r^2 : 0,66**) nas plantas. O Mehlich 1 foi o extrator que apresentou boa correlação para determinação dos teores de P, sendo para o teor (r^2 : 0,61**) e acúmulo (r^2 : 0,62**) de P. Na média das doses de escória, o extrator cloreto de cálcio apresentou correlação com o acúmulo de Si (r^2 : 0,49*) e com teores (r^2 : 0,51**) e acúmulos (r^2 : 0,60**) de P. Enquanto para os teores de P os métodos testados foram eficientes para determinação do nutriente.

Assim, como o primeiro cultivo com o milho (Tabela 3), como no segundo cultivo com sorgo (Tabela 4), o CaCl_2 foi melhor na determinação de Si (KORNDÖRFER et al., 2004; KORNDÖRFER et al., 2006). Korndorfer et al. (1999) identificaram o baixo coeficiente de determinação para o CaCl_2 em solos pobres em Si. As diferenças encontradas entre estes extratores são atribuídas à ação em diferentes componentes da matriz do solo, resultados semelhantes a Pereira et al. (2007). Em solos de textura média e arenosa pode haver aumento nos teores de Si extraível pelos métodos da água e do CaCl_2 (CAMARGO et al., 2007b).

Da mesma forma que no primeiro cultivo com milho, os teores de argila influenciaram a disponibilidade de P devido ao desgaste do extrator pela fração argila do solo (Tabela 1), principalmente no LVDF por ser o mais intemperizado e rico em sítios de adsorção de P (BORTOLON; GIANELLO, 2008). Os teores de P obtidos pelo Mehlich 1 são inferiores aos dos encontrados pelo método Olsen. O pH do extrator inicialmente é de 1,2 e por causa da elevada quantidade de óxidos de ferro e alumínio, eleva-se ao ponto de não conseguir extrair mais o P do solo. Como o íon sulfato (SO_4^-) do extrator atua como troca com o P e em solos adsorvido ele também é rapidamente adsorvido pelos colóides, diminuindo assim a eficiência do Mehlich 1 na determinação de P. Mas em solos onde há muitas ligações do P com o cálcio (P não-disponível) há superestimação dos valores de P, devido a quebra da ligação entre estes dois elementos. Resultados semelhantes foram encontrados por Palácio et al. (2000) com avaliação da correlação entre solos com diferentes teores de argila com três extratores (Mehlich 1, Bray 1 e o método coletor de P) para o milho em casa-de-vegetação. O método que apresentou menor interferência para os teores de argila foi o Bray 1, mas embora os três métodos podem ser utilizados para a determinação dos teores de P. O

acúmulo de P obteve correlação para todos os extratores de Si e P, independente da aplicação ou não de escória de siderurgia, apontando que este nutriente possui extratores mais eficientes que o Si, devido principalmente o maior volume de estudos realizados para o P, por causa da essencialidade do nutriente. Simões Neto et al. (2009) encontraram que o uso do extrator Mehlich 1 foi superior ao método Bray 1 em vários solos do estado de Pernambuco, correlacionando com a capacidade tampão de P no solo. Com isso, é possível diagnosticar que no Brasil, faltam informações precisas sobre o melhor extrator de Si o que promove uma dificuldade no estudo do elemento.

Na média das doses de escória houve correlação entre todas as características avaliadas em relação ao P. Possivelmente pela maior oferta de P no solo causada pelo deslocamento do fosfato pelo silicato nos sítios de adsorção (KOSKI-VAHALA et al., 2001). Em condições onde há aplicação de doses elevadas de P, os extratores, Mehlich 1, Mehlich 3 e Bray 1 (SANTOS; KLIEMANN, 2005; AMORIM et al., 2008) apresentam bons coeficientes de correlação, devido a maior parte do P se encontrar na forma lábil.

As baixas correlações com as características das plantas (Tabela 4) podem ser devido o uso de escória de siderurgia, que promove a correção da acidez do solo, eleva os teores de cálcio e magnésio e como os sítios de adsorção podem estar preenchidos por P, o nutriente não foi liberado para a forma solúvel, comprometendo os resultados analíticos (CHAVES; FARIAS, 2008). Quando se compara a ausência e na média das doses de escória de siderurgia, há maior correlação com as características avaliadas na adubação silicatada (Tabela 4). Nessa última situação, as plantas tiveram um melhor desenvolvimento vegetativo, devido o maior teor de fósforo disponível (LANA et al., 2004; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2009; SOUZA et al., 2009). Dessa forma, na ausência da aplicação da adubação silicatada, pode ter ocorrido um efeito da concentração do nutriente nas folhas, o que pode ter superestimado a absorção pelas plantas, em detrimento de outros nutrientes, como o P. Assim, comprometeu as análises de correlação entre os métodos. Como apresentado na Tabela 4, a aplicação de escória de siderurgia, promoveu uma melhor correlação do P pelo método Olsen, indicando ser um método mais sensível para a determinação de P. Gonçalves e Meurer (2009) concluíram que os teores de P extraídos do solo pelo Mehlich 1 e a resina, obtiveram boa correlação com o P lábil e moderadamente lábil, com destaque para a resina. Isso indica que o Mehlich 1 apresenta uma menor confiança da real disponibilidade do P no solo, podendo superestimar em solos ácidos e subestimar em solos corrigidos.

Em solos arenosos qualquer método de extração de P permite bons coeficientes de correlação, como constatado por Amorim et al. (2008) em um solo com 11,7% de argila, classificado como Neosso-

lo Quartzarênico. No caso de solos argilosos, o Mehlich 3 apresenta superioridade na determinação do P solúvel, pois apresenta agente EDTA na sua composição, o qual simula com maior precisão a planta (MALAVOLTA et al., 1997).

CONCLUSÕES

Os métodos CaCl_2 e CH_3COOH são recomendados para extração de Si de acordo com os solos estudados. Em condições com elevados teores de Si e em solos argilosos o CaCl_2 apresenta melhor correlação. Os métodos de extração de Si correlacionam com o acúmulo de P. Para a determinação de P, o método Olsen foi melhor para o LVDm, enquanto para o LVDf não houve diferença entre os solos. O sorgo apresentou os maiores coeficientes de correlação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. et al. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento inicial da mamoneira. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 217-221. 2009.

AMORIM, L. B. et al. Disponibilidade de fósforo em Neossolo Quartzarênico cultivado com melão. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 141-146. 2008.

BARBOSA FILHO, M. P. Silicato de cálcio como fonte de silício pra arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 325-330. 2001.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich 1 e Mehlich 3 em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. especial, p. 2751-2756. 2008.

CAMARGO, M. S. et al. Extratores de silício solúvel em solos: influência do calcário e fósforo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 9-19. 2005.

CAMARGO, M. S. et al. Soil reaction and absorption of silicon by rice. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 176-180. 2007a.

CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 637-647. 2007b.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e

na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 75-82. 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FARIAS, D. R. et al. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. I – Isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 623-632. 2009.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J. Frações de fósforo no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 357-362. 2009.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. P.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 50 p.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Avaliações de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 101-106. 1999.

KOSKI-VAHALA, J.; HARTIKAINEN, H.; TALLBERG, P. Phosphorus mobilization from various sediment pool in response to increase pH and silicate concentration. **Journal Environmental Quality**, v. 30, n. 2, p. 546-552. 2001.

LANA, R. M. Q. et al. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 525-528. 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

PALÁCIO, S. M.; LUCHESE, E. B.; LENZI, E. Comparação dos extratores Mehlich 1 e Bray 1 com a base de óxido de ferro na avaliação do fósforo no solo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 22, n. 5, p. 1151-1156. 2000.

PEREIRA, H. S. et al. Avaliação de fonte e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 239-247. 2007.

PEREIRA, H. S. et al. Disponibilidade de silício em diferentes fontes. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 20, n. 2, p. 47-56. 2004.

PULZ, A. L. et al. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1651-1659. 2008.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81).

RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 751-757. 2008.

SANTOS, E. A.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de Cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 139-146. 2005.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2037-2049. 2008.

SILVA, L. S. et al. Avaliação de métodos para estimativa da disponibilidade de fósforo para arroz em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 207-216. 2008.

SIMÕES NETO, D. E. et al. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, suplemento, p. 840-848. 2009.

SOUZA, K. S. et al. Avaliação dos componentes de produção da mamoneira em função de doses de calcário e fósforo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 116-122. 2009.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 190 p.