

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLO TRATADO COM COMPOSTOS ORGÂNICOS RICOS EM SILÍCIO

RESUMO

Avaliou-se a disponibilidade de P na cultura da cana-de-açúcar em solo tratado com composto orgânico rico em silício. Para tanto, foram obtidos cinco compostos a partir da mistura dos seguintes materiais: bagaço de cana-de-açúcar, cinzas de bagaço de cana, torta de filtro e farelo de mamona, enriquecidos com pós de rocha de serpentinito e micaxisto. Os tratamentos, constituídos pela aplicação de 5 doses (0, 13, 26, 52 e 104 Mg ha⁻¹) dos referidos compostos + 1 tratamento adicional com adubação química (NPK), foram aplicados em um Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico, textura média, cultivado com cana-de-açúcar. Após aplicação destes, foram coletadas amostras de solo, e determinados P-remanescente, Si “disponível”, C total e fracionamento das substâncias húmicas. Aos 150 dias de cultivo, foram coletadas amostras da planta para análise de P foliar. A aplicação dos compostos possibilitou redução da fixação de P pelo solo, contribuindo para elevação da absorção deste elemento pela cultura da cana-de-açúcar; a redução da fixação de P pelo solo foi atribuída ao Si proveniente dos pós de rochas de serpentinito e micaxisto e às substâncias húmicas presentes nestes compostos e; os compostos contendo cinza de bagaço de cana não contribuíram para elevação dos teores de Si “disponível” no solo.

Termos de indexação: Silício “disponível”, substâncias húmicas, fixação de P.

SUMMARY: AVAILABILITY OF PHOSPHORUS FOR SUGAR CANE IN SOIL TREATED WITH COMPOST RICH SILICON

To evaluate of the availability of P in the sugar cane plants in soil treated with compost rich in silicon, it was applied different composts in a Latossolo Red-Yellow, distrófico, average texture, cultivated with sugar cane. Five composts were formulated with following wastes: sweet cane bagasse, ashes of sweet cane bagasse, filter cake and castor oil plant residue, enrichment with serpentinito and micaxisto powdered rocks. The treatments consisted of five doses (0, 13, 26, 52 e 104 Mg ha⁻¹) of each compost and an additional treatment with mineral fertilization (NPK). Soil samples were collected after the application of the treatments in order to carry the following analysis: equilibrium P, "available" Si, total organic C, and fractionation of the organic substances. In the plant was sampled 150 days after

34 planting to analysis of the foliar P. The application of composts made possible reduction of the
35 adsorption of P for the soil, contributing for rise of the absorption of this element for the sugar cane
36 culture; the reduction of the absorption of P for the soil was attributed to Si from rocks of serpentinito
37 and micaxisto, and the humic substances from composts and; the compost containing ashes of sweet
38 cane bagasse did not contribute to a high content of Si “available” in the soil.

39 Index terms: Si “available”, humic substances, adsorption of P.

40

41

INTRODUÇÃO

42

43 A disponibilidade de fósforo para as plantas em solos tropicais é influenciada pela adição deste
44 elemento por meio da adubação fosfatada e regulada pelo fenômeno de sorção de P pelo solo. Este
45 fenômeno ocorre na superfície dos óxidos de Fe e de Al por meio da troca de ligantes, onde grupos OH
46 são substituídos por íons fosfatos da solução do solo, diminuindo sua disponibilidade em solução (Afif
47 et al., 1995; Novais & Smity, 1999). Como forma de contornar este problema e possibilitar o
48 fornecimento de P às plantas, tem sido sugerida a adição de fertilizantes que contenham agentes que
49 concorrem pelos os mesmos sítios de troca do fosfato, como o silício (Hingston et al., 1972) e as
substâncias húmicas (Andrade, 2001).

50

51 O Si pode ser adsorvido às superfícies dos óxidos de Fe tal como o P (Hingston et al., 1972),
52 inclusive deslocando este elemento previamente adsorvido nas superfícies oxídicas, e vice-versa
53 (Obihara & Russel, 1972; Leite, 1997), contribuindo assim com a redução do fenômeno da sorção.
54 Hingston et al. (1968) afirmam que tais efeitos podem ser devidos não só a competição dos ânions
55 silicato pelos sítios de adsorção de P, mas também ao aumento do pH, uma vez que os silicatos
apresentam ação corretiva da acidez dos solos (Korndörfer et al., 1999ab; Alcarde, 1992).

56

57 Assim como o Si, as substâncias húmicas (SH) podem atuar na redução da adsorção do P pelo
58 solo (Aguilera et al., 1992; Silva et al., 1997), competindo pelos mesmos sítios de adsorção do fosfato.
59 A efetividade no bloqueio destes sítios varia de acordo com a taxa de mineralização das SH.
60 Compostos orgânicos de cadeia mais simples, por exemplo, são decompostos mais rapidamente
61 (Geelhoed et al., 1999) e moléculas com maior número de grupos funcionais como OH e COOH, são
62 mais efetivas na competição pelos sítios de adsorção (Schuwertmann et al., 1986; Novais & Smith,
1999).

63 Os resíduos provenientes da produção de biocombustíveis como o bagaço da cana, a cinza do
64 bagaço da cana, a torta de filtro e o farelo da mamona podem ser empregados na formulação de
65 compostos orgânicos e contribuir para obtenção de fertilizantes com maior conteúdo de SH e rico em
66 Si, os quais podem atuar na redução da sorção de P em solos tropicais. A queima do bagaço da cana,
67 que vem sendo utilizada para produção de energia em usinas de açúcar e álcool (Kilicaslan et al.,
68 1999), gera grande quantidade de cinzas no final da estação de moagem. Esta cinza, que possui teores
69 de Si em torno de 65 a 81 %, quando aplicada ao solo, pode contribuir para o aumento da produção da
70 cana-de-açúcar, conforme observou Pan et al. (1979), elevando em 20 % a sua produção.

71 O enriquecimento mineral dos resíduos de produção de biocombustíveis durante processo de
72 compostagem, utilizando pós de rocha de serpentinito e de macaxisto, pode contribuir tanto na elevação
73 dos teores de Si nos compostos, quanto promover alterações na qualidade das SH, conferindo-lhe um
74 potencial diferenciado na competição por sítios de adsorção de fosfato (Lima et al., 2005).

75 Assim sendo, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de compostos
76 orgânicos formulados com resíduos ricos em Si sobre a disponibilidade de P para cultura da cana-de-
77 açúcar.

78

79

MATERIAL E MÉTODOS

80 O presente estudo foi realizado em casa de vegetação localizada no Departamento de Solos da
81 Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Estado de Minas Gerais. Amostra de Latossolo Vermelho-
82 Amarelo, distrófico, textura média, proveniente do município de João Pinheiro, Estado de Minas
83 Gerais, foi coletada na camada de 0 a 20 cm e passadas em peneira de 2,0 mm. Foram determinadas as
84 seguintes características químicas e físicas desse solo: pH em água: 4,76; P - Mehlich 1 (mg dm^{-3}): 2,1;
85 K (mg dm^{-3}): 122; Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$): 0,18; Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$): 0,06; Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$): 0,20; H + Al (cmol_c
86 dm^{-3}): 3,9; SB ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$): 0,55; t ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$): 0,75; T ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$): 4,45; V %:12,4; m %:26,7; MO
87 (dag kg^{-1}): 1,43; P-rem (mg L^{-1}): 26,3; densidade do solo (g cm^{-3}): 1,33; densidade das partículas (g cm^{-3}):
88 2,68; teor de argila (dag kg^{-1}): 37; classe textural: argilo arenosa.

89 Este solo foi acondicionado em recipientes de 20 dm^3 , para em seguida receberem os
90 tratamentos. Foram utilizados 5 compostos orgânicos, cuja formulação e caracterização química
91 constam nos quadros 1 e 2, respectivamente. Além destes, aplicou-se mais um tratamento adicional
92 constituído pela recomendação de adubação convencional da cultura da cana-de-açúcar (80 kg ha^{-1}
93 P_2O_5 ; $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ e $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) (AQ), conforme CFSEMG, 2002. Com antecedência de 15 dias

94 para montagem do experimento foi realizada, apenas no tratamento químico adicional, calagem do solo
 95 com a mistura de carbonato de cálcio + carbonato de magnésio (4:1) de acordo com sua necessidade,
 96 utilizando-se o método do Al e Ca + Mg trocáveis. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de
 97 5 doses (0, 13, 26, 52 e 104 Mg ha⁻¹, base matéria seca), dos 5 compostos orgânicos + 1 adubação
 98 química, com três repetições, em esquema fatorial (5 x 5) +1, distribuídos em blocos casualizados.

99 **Quadro 1.** Compostos orgânicos formulados com diferentes materiais e enriquecimentos minerais

| Composto orgânico | Proporção | Composição |
|-------------------|---------------------------------------|--|
| CS | 3:3:2 | bagaço de cana + cinza de bagaço de cana + esterco de galinha poedeira |
| SA | 3:3:2 | CS + NPK* (N: sulfato de amônio) |
| SM | 3:3:2 (+ 62,5 kg t ⁻¹) | CS + micaxisto + serpentinita (silicato de magnésio) - em pó |
| TF | 2:1 | bagaço de cana + torta de filtro |
| M-G | 2:1 | bagaço de cana + farelo de mamona |

100 *Recomendação para adubação da cana-de-açúcar: 80 kg ha⁻¹ P₂O₅; 90 kg ha⁻¹ K₂O and 60 kg ha⁻¹ N.

101
 102 Amostras de solo foram coletadas logo em seguida a aplicação dos compostos para realização das
 103 análises de C orgânico total (Yeomans & Bremner, 1988); P remanescente (Alvarez V., 2000);
 104 fracionamento da matéria orgânica em ácidos húmicos, fúlvicos e humina, de acordo com a IHSS
 105 (Hayes et al, 1989), determinando-se o teor de C nessas frações; silício "disponível" extraído com
 106 solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹, de acordo com Korndörfer (2004). Em seguida, foram
 107 plantados os toletes pré-geminados de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), variedade
 108 RB867515. Aos 150 dias após o plantio foram coletadas amostras da folha +3 (Gallo et al., 1968) para
 109 avaliação do teor de P por meio de espectrometria de emissão óptica em plasma induzido (ICP-OES),
 110 após secagem a 65° C e trituração da amostra e digestão nitroperclórica (Miyazawa et al., 1999).

111 Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e correlação linear simples (Correlação
 112 de Pearson), utilizando-se o programa SAEG (Sistema de Análise Estatísticas e Genéticas), da
 113 Universidade Federal de Viçosa (FUNARBE, 1993).

114

115

116 **Quadro 2.** Composição química de compostos orgânicos obtidos com diferentes materiais e
 117 enriquecimentos minerais

118

| Característica | CS | SA | SM | TF | M-G |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| pH-CaCl ₂ ^{1/} | 7,24 | 6,28 | 7,50 | 5,88 | 5,76 |
| Ca ²⁺ (g kg ⁻¹) ^{2/} | 71,13 | 69,51 | 70,30 | 22,15 | 13,16 |
| Mg ²⁺ (g kg ⁻¹) ^{2/} | 5,59 | 5,13 | 21,24 | 1,94 | 5,81 |
| K (g kg ⁻¹) ^{2/} | 110,16 | 96,30 | 204,70 | 478,49 | 76,24 |
| Al ³⁺ (g kg ⁻¹) ^{2/} | 9,77 | 7,96 | 13,35 | 49,23 | 6,39 |
| P (g kg ⁻¹) ^{2/} | 9,93 | 11,50 | 9,05 | 6,54 | 5,96 |
| S (g kg ⁻¹) ^{2/} | 2,94 | 5,59 | 2,59 | 3,48 | 3,44 |
| Fe (g kg ⁻¹) ^{2/} | 7,20 | 5,82 | 12,67 | 29,69 | 4,41 |
| Cu (mg kg ⁻¹) ^{2/} | 50,08 | 57,46 | 58,44 | 48,16 | 36,68 |
| Zn (mg kg ⁻¹) ^{2/} | 326,29 | 284,64 | 249,66 | 145,52 | 158,95 |
| B (mg kg ⁻¹) ^{2/} | nd | nd | nd | 4,21 | nd |
| Mo (mg kg ⁻¹) ^{2/} | 1,38 | 0,25 | nd | nd | nd |
| Mn (mg kg ⁻¹) ^{2/} | 472,95 | 394,51 | 503,63 | 892,62 | 330,24 |
| Si Total (mg kg ⁻¹) | 25,06 | 36,65 | 40,85 | 12,67 | 5,57 |
| C Total (g kg ⁻¹) | 141,51 | 162,34 | 85,28 | 277,72 | 309,77 |
| N Total (g kg ⁻¹) | 8,9 | 11,2 | 10,3 | 18,7 | 27,9 |
| Relação C/N | 15,9 | 14,5 | 8,3 | 14,8 | 11,1 |
| FAH (dag kg ⁻¹) | 0,98 | 0,79 | 0,92 | 1,89 | 2,87 |
| FAF (dag kg ⁻¹) | 0,68 | 0,32 | 0,49 | 1,77 | 1,22 |
| SH (dag kg ⁻¹) | 1,66 | 1,11 | 1,41 | 3,66 | 4,09 |

^{1/} Relação sólido-solução 1:5; ^{2/} Digestão nitroperclórica, leitura em ICP-OES; FAH: fração ácidos húmicos; FAF: fração ácidos fúlvicos; SH: substâncias húmicas; nd: não detectado; CS: composto simples; SA: CS enriquecido com NPK, cujo N: sulfato de amônio; SM: CS enriquecido com pó de rocha serpentinito + micaxisto; TF: torta de filtro + bagaço de cana; M-G: farelo de mamona + bagaço de cana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

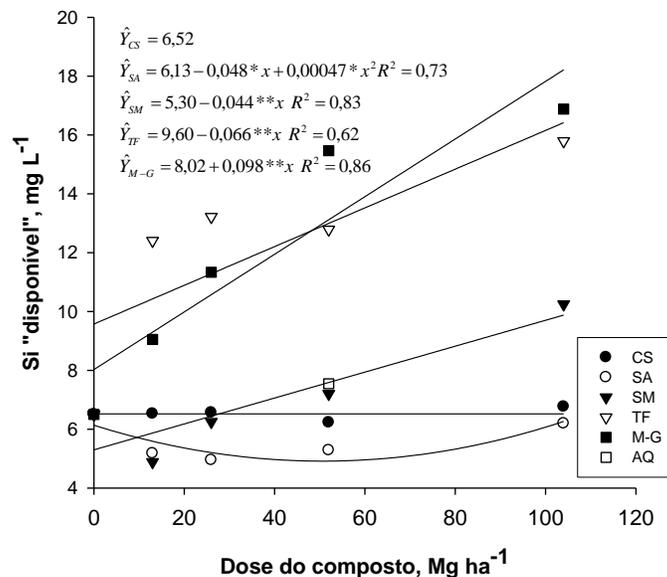
Análise do Solo

Silício “disponível”

Os teores de Si “disponível” no solo apresentaram comportamento linear com o aumento das doses dos compostos em todos os tratamentos, exceto o tratamento SA (Figura 1). No solo tratado com compostos TF e M-G, embora estes apresentassem os menores quantitativos de Si total (Quadro 2), foram observados os maiores teores do Si “disponível” com incrementos lineares decorrente do aumento das doses. Tal disponibilidade pode ser atribuída ao processo de mineralização do bagaço da

133 cana durante o processo de compostagem, que provavelmente possibilitou a solubilização do Si contido
 134 neste material, estando prontamente disponível quando da sua aplicação ao solo. Enquanto que os
 135 compostos CS e SA, cujos teores de Si total foram mais elevados (Quadro 2) devido a presença de BC
 136 e CBC, sofreram pouca influência das doses empregadas. O Si está presente no BC na forma de sílica
 137 gel (Savat et al., 1999) e as CBC como sílica cristalina, constituindo o quartzo (Teixeira et al., 2008). É
 138 possível que durante o processo de obtenção dos compostos CS e SA, a sílica gel e a sílica cristalina
 139 tenham se combinado formando ácido polissilícico, o que resultou em diminuição dos teores de Si
 140 “disponível” no solo, haja vista esta ser uma forma indisponível do elemento (Matichenkov & Snyder,
 141 1996).

142 Já o solo tratado com o composto SM, o teor de Si “disponível” foi superior ao do tratamento AQ
 143 a partir da dose de 56 Mg ha⁻¹. No composto SM, esse elemento estava presente, além do BC e da
 144 CBC, nos pós de rochas de serpentinito e micaxisto (Pinheiro & Barreto, 1996), os quais parecem ter
 145 sofrido alguma solubilização durante o processo de compostagem pelo fato de o composto SM
 146 possibilitar aumento linear do Si “disponível” com o aumento da dose aplicada, sobrepujando o efeito
 147 negativo da combinação das distintas formas de Si presentes no BC e CBC.



148

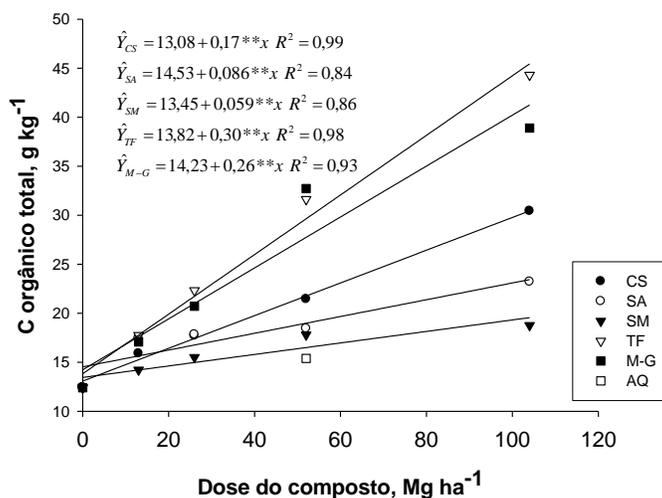
149 **Figura 1.** Teores de silício “disponível” em solo submetido à aplicação de doses crescentes de diferentes
 150 compostos orgânicos. CS: composto simples; SA: CS enriquecido com NPK, sendo N: sulfato de amônio; SM:
 151 CS enriquecido com pó de rocha serpentinito + micaxisto; TF: torta de filtro + bagaço de cana; M-G: farelo de
 152 mamona + bagaço de cana; AQ: adubação química (NPK).

153

C orgânico total e C das frações ácidos húmicos e fúlvicos

154 A adição de doses crescentes dos compostos orgânicos elevou os teores de C orgânico (Figuras
155 2). Estas elevações foram tanto maiores quanto maior o teor de C orgânico nos materiais (Quadro 1).

156 Os teores de C das FAH, FAF e FHU apresentaram crescimento linear com o aumento das doses
157 dos compostos, sendo a FHU a que apresentou teores mais elevados (Figura 3). Verificou-se
158 predominância da FAF em relação aos FAH ($FAH/FAF < 1$) nos tratamentos CS, SA, SM e M-G. Essa
159 mesma tendência foi observada no tratamento TF na aplicação das primeiras doses do referido
160 composto, sendo que esta relação se inverteu com o aumento das doses. O teor de C da FAF apresentou
161 pequena diferença entre os tratamentos, enquanto que o C da FAH, do tratamento TF apresentou teores
162 mais elevados, se destacando dos demais tratamentos. Este quadro não se deve apenas aos aspectos
163 quantitativos de FAH deste composto (Quadro 2), mas também às características qualitativas desta
164 fração caracterizada por Lima et al. (2006). Embora todos os compostos apresentem teores de FAH
165 superior ao do FAF (Quadro 2), verificou-se predomínio de FAF em relação aos FAH ao aplicar os
166 compostos ao solo, tal como observado por Canellas et al. (2001).
167



168

169 **Figura 2.** Teores de C orgânico total de solo submetido à aplicação de doses crescentes de diferentes
170 compostos orgânicos. CS: composto simples; SA: CS enriquecido com NPK, sendo N: sulfato de amônio;
171 SM: CS enriquecido com pó de rocha serpentinito + micaxisto; TF: torta de filtro + bagaço de cana; M-G: farelo
172 de mamona + bagaço de cana; AQ: adubação química (NPK).
173

174

175

176

177

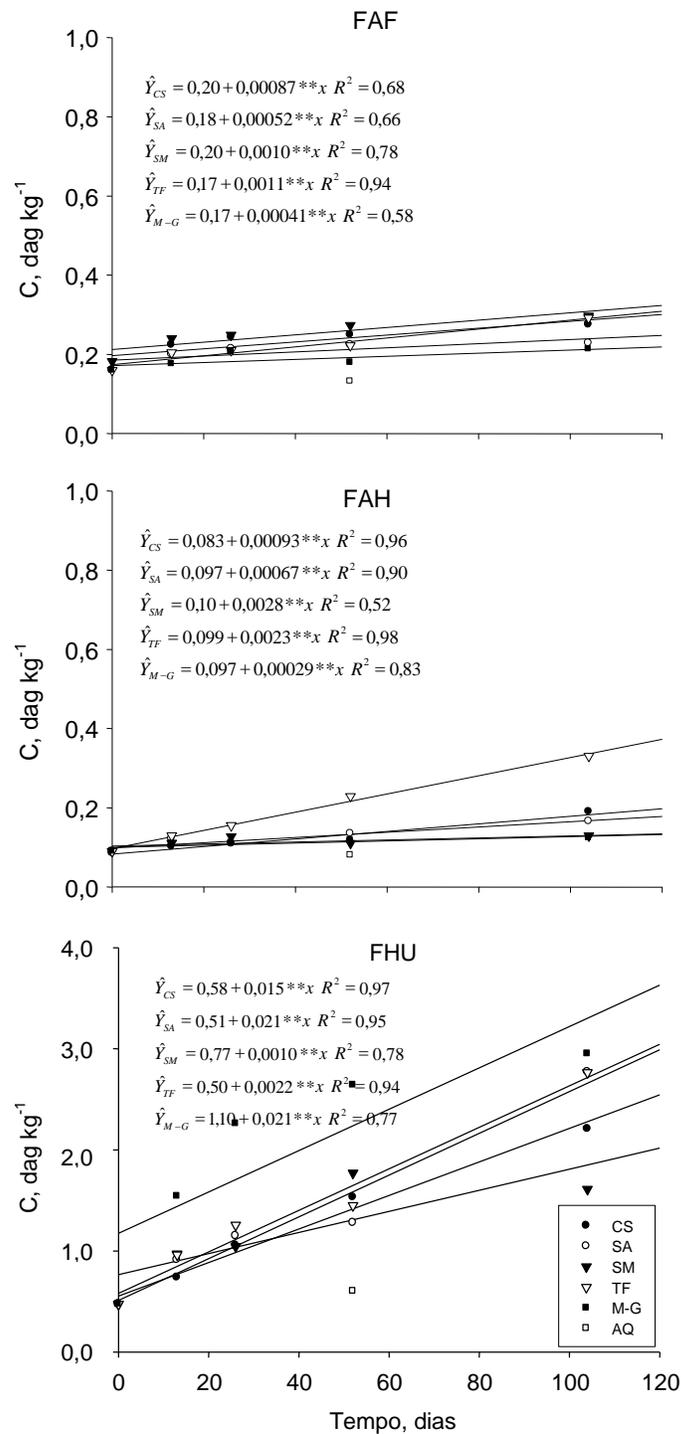
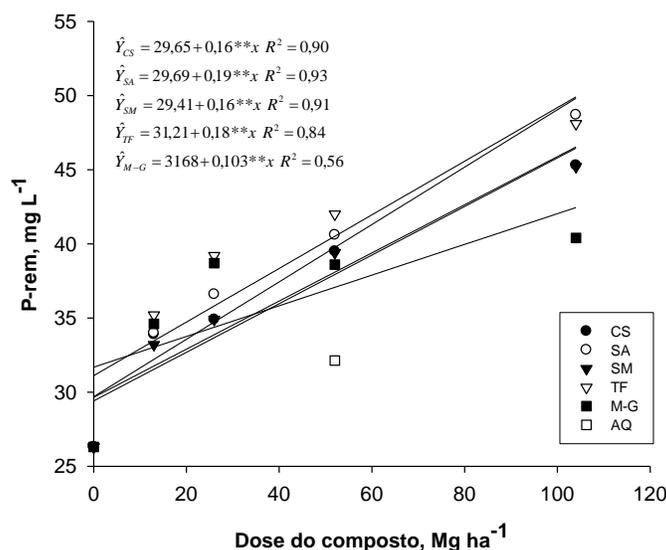


Figura 3. Teores de C das frações ácido húmico (FAH), ácido fúlvico (FAF) e humina (FHU) de solo cultivado com cana-de-açúcar e submetido à aplicação de doses crescentes de diferentes compostos orgânicos. CS: composto simples; SA: CS enriquecido com NPK, sendo N: sulfato de amônio; SM: CS enriquecido com pó de rocha serpentinito + micaxisto; TF: torta de filtro + bagaço de cana; M-G: farelo de mamona + bagaço de cana; AQ: adubação química (NPK).

222 Fósforo remanescente

223 Em geral, o P remanescente apresentou valores crescentes com o aumento da dose do composto
224 (Figura 4). Este resultado evidencia o efeito do composto orgânico em diminuir a precipitação/fixação
225 de P pelo solo, em todos os tratamentos, denotado pela correlação positiva entre P remanescente e C
226 total ($r= 0,78^{**}$). Contudo, analisando-se a correlação do P remanescente com a FAH dentro de cada
227 composto, verificou-se as seguintes correlações em ordem decrescente: SA ($r= 0,92^{**}$), TF ($r=$
228 $0,91^{**}$), CS ($r= 0,88^{**}$), M-G ($r= 0,75^{**}$) e SM ($r= 0,69^{**}$); enquanto que as maiores correlações P
229 remanescente com a FAF foram: CS ($r= 0,93^{**}$), TF ($r= 0,92^{**}$), SM ($r= 0,90^{**}$), SA ($r= 0,88^{**}$) e M-
230 G ($r= 0,80^{**}$). Isso se deve a ação direta das SH na formação de complexos organo-metálicos com os
231 íons Fe e Al, em várias faixas de pH, que podem impedir a precipitação do fosfato com tais íons. Além
232 disso, as SH podem bloquear os sítios de adsorção de fosfato da matriz do solo e formar “capas” ou
233 “superfícies protetoras” nos oxi-hidróxidos de Fe e Al (Mesquita Filho & Torrent, 1993). Isto pode
234 contribuir sobremaneira com a redução da forte adsorção de P (Mesquita Filho & Torrent, 1993; Bhatti
235 et al., 1998) e aumentar, conseqüentemente, a disponibilidade deste elemento às plantas (Stevenson,
236 1994). Guarçoni & Mendonça (2003) também verificaram elevação linear do teor de P remanescente de
237 solos tropicais com aplicação de doses crescentes de composto até 40 Mg ha^{-1} .



238

239 **Figura 4.** Valores de P remanescente (P-rem) de solo submetido à aplicação de doses crescentes de
240 diferentes compostos orgânicos. CS: composto simples; SA: CS enriquecido com NPK, sendo N:
241 sulfato de amônio; SM: CS enriquecido com pó de rocha serpentinito + micaxisto; TF: torta de filtro +
242 bagaço de cana; M-G: farelo de mamona + bagaço de cana; AQ: adubação química (NPK).

243

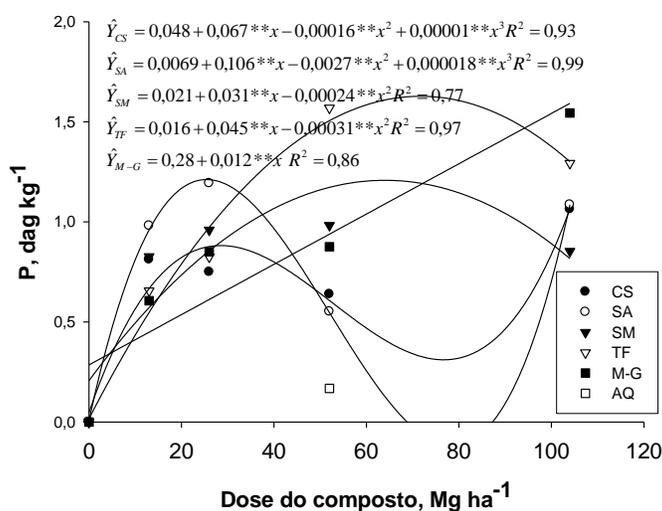
244 O Si solúvel pode ter influenciado a dinâmica de P no solo, observando-se algumas correlações
 245 entre o Si “disponível” e o P remanescente nos tratamentos SM ($r= 0,70^{**}$), TF ($r= 0,94^{**}$) e M-G ($r=$
 246 $0,78^{**}$). O Si contido no composto SM proveniente dos pós de rochas, provavelmente promoveu
 247 bloqueio nos sítios de adsorção de fosfatos, assim como as SH presente neste composto, haja vista
 248 ambos apresentarem correlações positivas com o P remanescente, diferentemente dos outros
 249 tratamentos contendo CBC.

250

251 **Análise da planta**

252 **Fósforo foliar**

253 O teor de P foliar apresentou diferenças entre os tratamentos e entre as doses de compostos
 254 utilizadas (Figura 5). A média deste nutrientes na folha em todos os tratamentos com compostos foi
 255 superior a do tratamento químico. Orlando Filho (1978), encontrou em cana de 6 meses, variedade CB-
 256 453, teor foliar de P de $0,08 \text{ dag kg}^{-1}$, inferior ao encontrado no presente estudo em cana de 5 meses da
 257 variedade RB867515. Esta diferença pode estar relacionada às características próprias de cada
 258 variedade como observaram Barbosa et al. (2002) e Mendes (2006), acrescido do fato de as plantas do
 259 presente estudo serem relativamente jovens e normalmente ocorrer diminuição do teor de minerais com
 260 a idade da planta em função da translocação de nutrientes das folhas para outras partes da planta, como
 261 o colmo (Alexander, 1973; Orlando Filho, 1978; Clements, 1980; Silva & Casagrande, 1983).



262

263

264 **Figura 5.** Teores de P foliar da cana planta, variedade RB867515, de cinco meses de idade, cultivada
 265 em solo submetido à aplicação de doses crescentes de diferentes compostos orgânicos. CS:
 266 composto simples; SA: CS enriquecido com NPK, sendo N: sulfato de amônio; SM: CS enriquecido com pó

267 de rocha serpentinito + micaxisto; TF: torta de filtro + bagaço de cana; M-G: farelo de mamona + bagaço de
268 cana; AQ: adubação química (NPK).

269
270 O teor P foliar se correlacionou positivamente como o seu respectivo P remanescente do solo ($r=$
271 $0,79^{**}$), indicando que a dinâmica de decomposição da MO atendeu prontamente a demanda da
272 cultura, embora a análise foliar, para avaliar necessidade de nutrientes para a cana-de-açúcar, em geral,
273 apresenta baixa sensibilidade conforme observado por Rossetto et al. (2004).

274

275

CONCLUSÕES

- 276 1. A aplicação dos composto orgânico possibilitou redução da fixação de P pelo solo, contribuindo
277 para elevação da absorção do mineral pela cultura da cana-de-açúcar;
- 278 2. A redução da fixação de P pelo solo quando da aplicação do composto orgânico pode ser atribuída
279 às substâncias húmicas presentes nos compostos;
- 280 3. O Si proveniente dos pós de rochas de serpentinito e micaxisto presente no composto SM também
281 contribuiu para redução da fixação de P pelo solo, possibilitando aumento da absorção de P pela
282 cultura da cana-de-açúcar;
- 283 4. Os compostos contendo cinza de bagaço de cana não contribuíram para elevação dos teores de Si
284 “disponível” no solo, não influenciando, portanto, para redução da fixação de P.

285

286

AGRADECIMENTOS

287 Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
288 Tecnológico) e à FAPEAL (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas) pelo suporte
289 financeiro para a realização desta pesquisa.

LITERATURA CITADA

291 AFIF, E., BARRÓN, V., TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption
292 by cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, v.159, n. 3, p.207-211, 1995.

293 AGUILERA, M. S.; PINO, I. U.; REYES, C. P., CAIOZZI, M. C. Effect of organic matter on soil
294 availability of phosphorus, iron, cooper and zinc in Osborne. **Agricultura Técnica**, v. 52, n. 4, p. 423-
295 425, 1992.

296 ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São
297 Paulo: ANDA, 1992. p. 62 (Boletim técnico, 6)

- 298 ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology, a comprehensive study of Saccharum source-to-sink**
299 **system**. Amsteerdan, Elsevier, 1973. 752 p.
- 300 ALVAREZ V., V. H., NOVAIS, R. F., DIAS, L. E., OLIVEIRA, J. A. Determinação do uso do fósforo
301 remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1,
302 p. 27-32, 2000.
- 303 ANDRADE, F. V. **Ácidos orgânicos e adsorção de fosfato em latossolos**. Viçosa: Departamento de
304 Solos da Universidade Federal Viçosa,. 56 p. 2001 (Dissertação de Mestrado).
- 305 BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, M.W.; DAMASCENO, C.M. et al. Acúmulo e alocação de
306 nutrientes pela RB72454 no ciclo da cana-planta. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos
307 Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8, Recife, 2002. **Anais...** Recife, STAB, 2002. p. 264-267.
- 308 BHATTI, J. S., COMEFORD, N. B., JOHNSTON, C. T. Influence of oxalate and soil organic matter
309 on sorption and desorption of phosphate onto a Spodic horizon. **Soil Science Society America of**
310 **Journal**, v.62, p.1089-1095, 1998.
- 311 CANELLAS, L. P., SANTOS, G., MORAES, A. A., RUMJANEK, V. Distribuição da matéria
312 orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana.
313 **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, 2001.
- 314 CLEMENTS, H. F. **Sugarcane crop logging and crop control: principles and practices**. Honalulu,
315 University of Hawaii, 1980, 520 p.
- 316 COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações**
317 **para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 5º aproximação**. Lavras, 2002, 359 p.
- 318 GALLO, J. R.; HIROCE, R.; ALVAREZ, R. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São
319 Paulo pela análise foliar. **Bragantia**, v. 27, p.3 65-82, 1968.
- 320 GEELHOED, J. S., Van RIEMSDIJK, W. H., FINDENEGG, G. R. Simulation of the effect of citrate
321 exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite. **European Journal**
322 **of Soil Science**, v. 50, n. 3, p. 379-390, 1999.
- 323 GUARÇONI, M., MENDONÇA, E. S. Capacidade tampão de pH do solo e disponibilidade de fósforo
324 pela adição de composto orgânico. **Magistra**, v. 15, n. 2, 2003.

325 HAYES, M. H., McCARTHY, P., MALCOLM, R. L., SWIFT, R. S. Structures of humic substances:
326 the emergence of forms, p. 3-31. In: HAYES, M.H., McCARTHY, P., MALCOLM, R.L., SWIFT, R.
327 S. **Humic Substance II: In search of structure: setting the scene**. New York: John Wiley & Sons,
328 1989. 764 p.

329 HINGSTON, F. J., POSNER, A. M., QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The
330 role of the proton in determining adsorption envelopes. *European Journal of Soil Science*, v. 23, n. 2, p.
331 177-191, 1972.

332 HINGSTON, F. J.; ATKINSON, R. J.; POSNER, A. M., QUIRK, J. P. Specific adsorption of the
333 anions on goethite. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9, 1968, Adelaide.
334 **Proceedings...** Baltimore, International Society of Soil Science, p. 669-678, 1968.

335 KILICASLAN, I., SARAC, H. I., ÖZDEMİR, E., ERMİŞ, K. Sugar cane as an alternative energy
336 source for Turkey. *Energy Conversion and Management*, v. 40, n. 1, p. 1-11, 1999.

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

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

343 KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S., NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta, fertilizante**. 1^a
344 ed., Uberlândia: UFU, 2004, 7 p. (Boletim técnico, 2)

345 LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em Latossolo-Roxo cultivado com sorgo em casa-de-**
346 **vegetação**. Viçosa: Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, 1997. 87 p. (Tese de
347 Doutorado)

348 LIMA, C. C., MENDONÇA, E. S., ROIG, A., SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A., PERES, B. H., 2005.
349 Effect of mineral enrichment on the humic fraction composition during the composting process. In:
350 EUROPEAN GEOSCIENCES UNION, Viena, Austria, 2005. **Geophysical Research Abstracts...**
351 Viena, Austria, v. 7, 2005. CD-ROM.

352 LIMA, C. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; SILVA, L. H. M. ; SÁNCHEZ-MONEDERO, M.
353 A.; ROIG, A. Solid state NMR ¹³C of humic and fulvic acids from composts prepared with different

354 materials and minerals enrichment. In: Meeting of the International Humic Substances Society, 13.
355 Karlsruhe, Germany, 2006. **Abstract...** IHSS, Karlsruhe, Germany. CD ROM.

356 MATICHENKOV, V.V.; SNYDER, G.H. The mobile silicon compounds in some South Florida soils.
357 **Eurasian Soil Science**. v. 12, p. 1165-1173, 1996.

358 MENDES, L.C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. Viçosa: Departamento de
359 Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 46 p. (Dissertação de Mestrado).

360 MESQUITA FILHO, M. V., TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a
361 hydrosequence of soil from de cerrado region (Brazil). **Geoderma**, v. 58, n. 1-2, p.107-123, 1993.

362 MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., MURAOKA, T., CARMO, C. A. F. S., MELLO, W. J. Análise
363 química de tecido vegetal. p. 171-223. In: SILVA, F. C. **Manual de Análises Químicas de Solos,**
364 **Plantas e Fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999, 370 p.

365 NOVAIS, R. F., SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. 1ª edição. Viçosa,
366 MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

367 OBIHARA, C. H.; RUSSEL, E. W. Specific adsorption of the silicate and phosphate by soils.
368 **European Journal of Soil Science**, v. 23, n. 1, p. 105-117, 1972.

369 ORLANDO FILHO, J. **Absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*),**
370 **variedade CB41-76 em três grandes grupos de solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba: Escola
371 Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1978, 154 p. (Tese de
372 Doutorado).

373 PAN, Y. C., EDW, K. L., LING, S. H. The effect of bagasse furnace ash on the growth of plant cone.
374 In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY OF SUPER TECH, 16, São Paulo, 1978.
375 **Proceedings...** São Paulo, v. 2, 1978. p. 883-889.

376 PINHEIRO, S., BARRETO, S. B. **“MB-4”:** **Agricultura Sustentável, Trofobiose e Biofertilizantes**.
377 Porto Alegre: Fundação Juquira Candiru, 1996, 273 p.

378 ROSSETTO, R., SPIRONELLO, A., CANTARELLA, H., JOSÉ ANTONIO QUAGGIO, J. A.
379 Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, v. 63, n. 1,
380 p.105-119, 2004.

- 381 SAVAT, N. K., KORNDÖFER, G. H., SNYDER, G. H., DATNOFF, L. E. Silicon nutrition and
382 sugarcane production: A review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 12, n. 22, p. 1853-1903, 1999.
- 383 SCHWERTMAN, U., KODAMA, H., FISHER, W. R. Mutual interactions between organics and iron
384 oxides. In: HUANG, P.M., SCHNITZER, M. (Eds.) **Interaction of soil minerals with natural**
385 **organics and microbes**. Madison: SSSA Spec. Publ. N° 17, WI. 1986. p. 223-247.
- 386 SILVA, L. C. F., CASAGRANDE, J. C. Nutrição mineral de cana-de-açúcar (macronutrientes). In:
387 ORLANDO FILHO, J. coord. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba,
388 IAA/PLANALSUCAR, 1983, p. 78-99.
- 389 SILVA, M. L. M., CURI, N., BLANCANEUX, P., LIMA, J. M., CARVALHO, A. M. Rotação,
390 adubo verde, milho e adsorção de fosfato em Latossolo Vermelho Escuro. **Pesquisa Agropecuária**
391 **Brasileira**, v. 32, p. 649-654, 1997.
- 392 STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley &
393 Sons, 1994.
- 394 TEIXEIRA, S. R.; SOUZA, A. E.; SANTOS, G. T. A.; PEÑA, A. F. V.; MIGUEL, A. G. Sugarcane
395 Bagasse Ash as a Potential Quartz Replacement in Red Ceramic. **Journal of the American Ceramic**
396 **Society**. v. 91. n. 6, p. 1883-1887, 2008.
- 397 YEOMANS, J. C., BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic
398 carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.