

CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR E REFERENCIAIS PARA A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E SILICATO EM LATOSSOLO ARENOSO DO NOROESTE PARANAENSE

Antonio Nolla¹, Murilo Caetano Prieto¹, Neila Caroline das Dores da Silva Souza¹, Tiago Roque Benetoli da Silva¹

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Agronomia, Campus de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR.

E-mail: murilocprieto1@hotmail.com, anolla@uem.br, neila237@hotmail.com, trbsilva@uem.br

RESUMO: *Um dos principais fatores limitantes da produção agrícola é a acidez do solo. O corretivo mais utilizado é o calcário, porém apresenta baixa mobilidade no perfil do solo e por consequência lenta correção abaixo da camada de 0-20 cm. Os silicatos são resíduos provenientes da industrialização de ferro e aço capazes de corrigir a acidez do solo, que apresentam maior reatividade o calcário. Objetivou-se avaliar a influência da aplicação de silicato e calcário no desenvolvimento da cana-de-açúcar e estabelecer indicadores para a correção da acidez. Doses de calcário e silicato de cálcio (0, 500, 1000 e 2000 kg ha⁻¹) foram aplicadas em um Latossolo Vermelho distrófico típico, cultivado com cana de açúcar. A aplicação de calcário e silicato no solo foi eficiente no aumento da produtividade e desenvolvimento da cana-de-açúcar. A máxima produção de cana-de-açúcar foi de 94,43 t ha⁻¹, com a aplicação de 1722 e 1672 t ha⁻¹ de calcário e silicato. A melhor performance da cana-de-açúcar foi atingida com valores de pH de 4,8 e 4,7, saturação por bases de 40 e 38% e teor de Ca = 1,62 e 1,70 e teor de Mg = 1,08 e 1,19 cmol_c dm⁻³, respectivamente para calcário e silicato.*

PALAVRAS-CHAVE: *Corretivos, escória, critérios de calagem.*

GROWTH OF SUGAR CANE AND CRITERIA FOR APPLICATION OF LIME AND CALCIUM SILICATE IN A SANDY LATOSOL IN THE NORTHWESTERN OF PARANÁ

ABSTRACT: *One of the main limiting factors of agricultural production is the soil acidity. The most used corrective is lime, but has slow mobility in the soil profile and by consequence slow it's correction below the layer of 0-20 cm. The silicates are products able to correct soil acidity and feature a greater reactivity. The objective of this evaluation was to evaluate the influence applying of silicate and lime in development of sugar cane. Doses of lime and calcium silicate (0, 500, 1000 e 2000 kg ha⁻¹) were applied in a sandy soil, cultivated with sugar cane. The application of lime and silicate in the soil increased the productivity and the development of sugar cane. Maximum yield of sugar cane was 94.43 t ha⁻¹, with the application of 1722 and 1672 t ha⁻¹ of lime and silicate. The best growth of sugar cane was obtained at pH values of 4.8 and 4.7, bases saturation of 40 and 38%, level of Ca = 1.62 and 1.70 and Mg level = 1.08 and 1.19 cmol_c m⁻³, respectively for lime and silicate.*

KEY WORDS: *Correctives, slags, liming criteria.*

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e vem sendo observado crescente aumento de produção da cultura devido à expansão de áreas de unidades mais

antigas e também pelo surgimento de variedades mais produtivas lançadas recentemente. Segundo dados da CONAB (2014), a produção nacional na safra 2014/15 será de 671,69 milhões de toneladas de cana, com aumento de 12,0% em relação à safra 2013/14. A área cultivada na safra de 2014/15 destinada à atividade sucroalcooleira será de aproximadamente 9.130,1 mil hectares. O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,7% (4.696,3 mil hectares), seguido por Goiás com 9,3% (878,27 mil hectares) e Minas Gerais com 8,9% (788,88 mil hectares). O Paraná é o quinto maior produtor nacional, com 6,7% da área (644,65 mil hectares). A safra de 2014/15 está estimada em 39,46 milhões de toneladas, projetando aumento de 4,17% na produção de açúcar. Já a produção de etanol está estimada em 28,37 bilhões de litros, sendo 1,47% maior que a safra passada.

A cana-de-açúcar é uma espécie vegetal considerada semi-perene que geralmente rebrota entre 3 e 6 vezes, sendo possível sua permanência no campo por mais tempo. A cada ano que a cultura permanece no solo, ocorre depreciação da fertilidade devido à absorção e perda das bases trocáveis durante o processo produtivo, de forma que os valores de pH diminuem e o alumínio fitotóxico aumenta sua concentração. Esta condição reduz a saturação por bases a valores ($V < 60\%$) que acabam resultando na diminuição da produtividade com o passar dos anos (Oliveira e Guerreiro, 2009). Para que a produtividade da cultura seja mantida, é necessário que durante o cultivo o solo seja monitorado e avaliado quanto à necessidade de aplicação de corretivos de acidez, produtos a serem utilizados para neutralizar altos ($>0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) teores de Al trocáveis (Ciotta et al., 2004) e baixos teores de cálcio ($<1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e magnésio ($<0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Ribeiro et al., 1999). O calcário é o produto mais utilizado, porém apresenta baixa solubilidade e necessita de água para a sua solubilização (Quaggio, 2000). Segundo Rossetto et al. (2004) o calcário atua na neutralização do alumínio tóxico e do manganês, aumenta a disponibilidade de cálcio e magnésio, além de contribuir para o aumento da atividade microbiana. Em estudos realizados, observou-se que com a dose adequada, foi possível aumentar a produtividade da cana e que doses excessivas não resultaram em aumento da produtividade (Rossetto et al., 2004).

Os silicatos podem apresentar maior potencial para correção da acidez do solo em profundidade que o calcário, porque apresentam uma solubilidade 6,78 vezes superior ao calcário (Kondörfer et al., 2002). Isto pode conferir um maior efeito de correção, principalmente quando o calcário é aplicado superficialmente. Os silicatos ainda são capazes de fertilizar o solo por apresentam cálcio, magnésio em sua composição. Além disso, estes produtos são considerados fontes de silício (23% de SiO_2 - Kondörfer et al., 2002). Segundo

Camargo et al. (2011) o silício (Si) é considerado um elemento que se acumula na cana-de-açúcar, sendo o elemento mais absorvido pela cultura. Além disso, estudos demonstram que aplicação de silício traz vários benefícios como maior tolerância ao déficit hídrico, maior eficiência fotossintética, maior resistência ao acamamento e contribui no controle de pragas e doenças, tendo em vista que plantas bem nutridas com silício apresentam maior resistência a estresse bióticos e abióticos (Korndörfer et al., 2002).

Apesar dos estudos envolvendo corretivos de acidez do solo para a cultura da cana-de-açúcar, ainda são necessários critérios para elucidar questionamentos a respeito de dosagens de aplicação destes produtos, especialmente em solos arenosos. Nessas condições, a necessidade de correção do solo é significativamente inferior a solos com maior teor de argila, em função de sua baixa capacidade de troca de cátions. A correta decisão e dosagem de aplicação de corretivos visa favorecer economicamente o agricultor, evitando-se a supercalagem ou a falta do insumo, proporcionando níveis de fertilidade adequados ao crescimento da cana-de-açúcar.

O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e produtividade da cana-de-açúcar submetida à aplicação de calcário e silicato e estabelecer indicadores para a correção da acidez de um Argissolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense.

MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido na cidade de Umuarama (PR), na área experimental da Universidade Estadual de Maringá (UEM), *Campus* regional de Umuarama (CAU) no ano de 2013, sob um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013) cujos atributos químicos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob

pH (CaCl ₂)	Ca	Mg	Al	P	K	SB	H+Al	T	V	M.O.	Argila
1 : 2,5	-----cmol _c dm ⁻³ ----			--mg dm ⁻³ --		-----cmol _c dm ⁻³ -----			%	----g kg ⁻¹ ---	
4,0	1,0	0,4	0,2	3,5	78	1,63	3,17	4,80	34	15	160

campo natural

Ca, Mg, Al = (KCl 1 mol L⁻¹); P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); SB = soma de bases; H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); T= CTC pH 7,0; V= Saturação por bases; M.O.= matéria orgânica (Walkley-Black).

O experimento foi iniciado com dessecação da vegetação natural utilizando-se Glyphosate (Roundup) na dosagem de 5 L ha^{-1} de produto comercial. O solo foi então submetido à uma aração e uma gradagem para a realização do preparo do solo. Os tratamentos foram instalados em parcelas de 4 x 6 metros, aplicando-se sobre a palhada da vegetação natural (superficialmente), calcário dolomítico (PRNT 75%) e silicato de cálcio e magnésio (PRNT 75%) nas doses de 0, 500, 1000 (necessidade de calagem para solos arenosos – V até 50% - EMBRAPA, 2008) e 2000 kg ha^{-1} num DBC com 4 repetições, em esquema fatorial 2 x 4 (dois materiais e quatro doses). Tanto o silicato quanto o calcário, foram aplicados superficialmente, isto é, sem incorporação, e distribuídos manualmente sobre a palha da vegetação natural da área.

O plantio da cana-de-açúcar variedade RB 855156 foi efetuado em fevereiro de 2013, de forma que para a cana planta foram feitos sulcos (30 cm de profundidade), onde as mudas foram colocadas em posição ponta com pé e picadas em toletes. A variedade de cana-de-açúcar utilizada apresenta características de não florescer, precocidade e boa produtividade, alto teor de sacarose e indicada para colheita no início de safra (Hoffmann et al., 2008). No momento do plantio, também foi efetuada adubação prévia do solo, aplicando-se 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 200 kg ha^{-1} de K_2O , 100 g ha^{-1} de micronutrientes na forma de fritas – FTE BR12 (9% de Zn, 1,8% de B, 2% de Mn, 0,8% de Cu, 0,1 % de Mo e 3% de Fe). Posteriormente, foram realizadas duas coberturas com 30 e 60 dias após a emergência da cultura, na dose de 45 kg ha^{-1} de N (sulfato de amônio).

A colheita foi realizada manualmente aos 360 dias após a emergência da cultura. Avaliou-se o diâmetro de plantas, massa de matéria seca foliar, massa de matéria seca de total de plantas e a produtividade da cana-de-açúcar. Os restos culturais foram mantidos em superfície, no intuito de reduzir o impacto da gota da chuva e melhorar a rebrota da soqueira da cana-de-açúcar. Na colheita, o solo das parcelas foi amostrado (0-10 cm) avaliando-se o pH- CaCl_2 , cálcio e magnésio ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$), todos conforme Tedesco (1995). Foi estimada a soma de bases e a saturação por bases (V%).

Foram estabelecidas relações entre os parâmetros de planta e os atributos químicos do solo para estabelecer critérios para a aplicação dos corretivos da acidez do solo testados. Todos os resultados foram submetidos à análise de variância pelo programa SISVAR e as médias comparadas pelo teste de Tukey a de 5% de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação dos corretivos testados (calcário e silicato) aumentou a produtividade (Figura 1A), a matéria seca total de plantas (Figura 1B), matéria seca foliar (Figura 1C) e diâmetro de caule (Figura 1D). Isto demonstra que os corretivos foram necessários para aumentar a disponibilidade de nutrientes e corrigir a condição original de acidez do solo (Tabela 1). Observa-se, de modo geral, que a aplicação de calcário e silicato aumentou o desempenho da cultura da cana-de-açúcar até um valor máximo. Valores acima da dose de maior eficiência dos corretivos propiciaram redução no desenvolvimento, provavelmente em função de desequilíbrio entre os nutrientes.

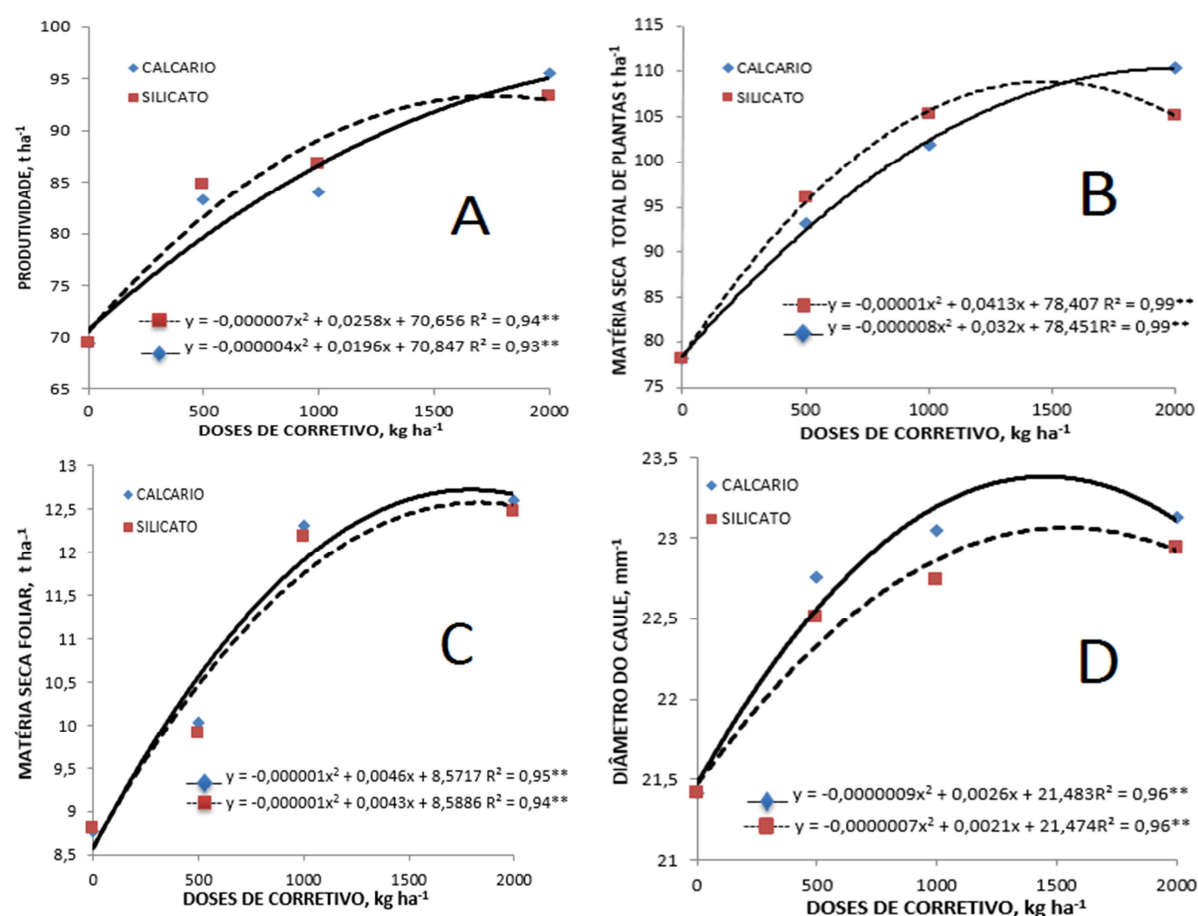


Figura 1 – Produtividade de cana-de-açúcar (A), matéria seca total de plantas (B), matéria seca foliar (C) e diâmetro do caule (D) afetados pela aplicação de diferentes doses de calcário e silicato em um Latossolo Vermelho distrófico típico. **Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Segundo Malavolta (1997) tal aumento pode ser explicado pelo fato do calcário, além de ser um corretivo de acidez do solo, também agir como fonte de cálcio. Este nutriente é essencial para o desenvolvimento da planta e de seu sistema radicular, isso porque o cálcio contribui para a integridade da parede celular das raízes. Sua translocação dentro da planta

não é fácil, portanto sua deficiência na solução do solo influencia no crescimento das raízes mais novas, resultando em um fraco desenvolvimento e consequentemente diminuição da absorção de nutrientes essenciais para aumentar a produtividade (Taiz e Zeiger, 2004). Assim, plantas onde aplica-se calcário, apresentam diminuição na necessidade de N para planta, aumento na resistência à seca por permitir maior absorção de água e de nutrientes e ainda aumenta a longevidade do canavial (Vitti et al., 2006).

A aplicação de silicatos também proporcionou benefícios resultantes do aumento na disponibilidade de silício, da elevação do pH e do aumento do Ca e Mg trocável do solo, além de atuar como neutralizante da toxidez do Al^{+3} para as plantas (Korndörfer et al., 2002). O silício na adubação de plantas torna as folhas das plantas mais eretas, resultando em maior eficiência quanto a capacidade de absorção da luz solar e por consequência realizar fotossíntese. A aplicação de silicato também proporcionou aumento na massa de matéria seca foliar (Figura C), isso por aumentar o desenvolvimento desta parte da planta (Kondörfer, 1998). Segundo dados demonstrados no trabalho de Faria (2000) o Si também pode aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico. Na Flórida, notou-se aumentos de produtividade entre 10 e 35% com a utilização de silicatos (Kidder e Gascho, 1977).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 1, também pode-se estabelecer o valor de máxima performance dos parâmetros da planta. A partir da 1ª derivada das equações de regressão, observa-se que para todos os parâmetros observados, a dose que proporcionou o máximo rendimento variou entre 1444 e 2000 $kg\ ha^{-1}$ para ambos os corretivos. Na média, o melhor desenvolvimento da cana-de-açúcar ocorreu com a aplicação de corretivos de acidez na doses de 1722 e 1672 $kg\ ha^{-1}$ de calcário e silicato respectivamente (Tabela 2). Estes valores estão acima da necessidade de calcário, que era inicialmente de 1000 $kg\ ha^{-1}$ para elevar a V% até 50%, considerada ideal para a cana-de-açúcar em solos arenosos (Sousa e Lobato, 2004). Isto indica que a aplicação de calcário para solos arenosos pode ser acima do preconizado para solos argilosos, uma vez que no solo testado, para as condições originais, além da presença de alumínio ($0,2\ cmol_c\ kg^{-1}$), o maior problema era a falta de nutrientes ($Ca = 1,0\ cmol_c\ kg^{-1}$ e $Mg = 0,4\ cmol_c\ kg^{-1}$).

Tabela 2 – Doses de máxima eficiência do calcário e silicato submetidos ao cultivo de cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho distrófico típico

Parâmetros Considerados	Calcário (kg/ha)	Silicato (kg/ha)
Produção (t/ha)	—	1.843
Diâmetro do Caule (mm)	1.444	1.500
Massa Total (t/ha)	2.000	—
Média	1.722	1.672

A partir dos dados da figura 1, também foi possível identificar o máximo desenvolvimento da planta em relação aos corretivos aplicados, através da derivações das equações de regressão. A melhor produção de cana-de-açúcar foi de 94,43 t ha⁻¹ quando aplicou-se silicato (Tabela 3), sendo uma alta produtividade em comparação com a média da produção do estado do Paraná que na safra 2013/2014 que foi de 72,19 t ha⁻¹ e maior que a média de produtividade para um solo arenoso que é de 65 t ha⁻¹ (CONAB, 2013). Isto comprova a eficiência da utilização dos corretivos. Esta alta produção é resultante da ação do calcário e silicato em aumentar saturação por bases (V%) devido ao fertilizante, por fornecer cálcio e magnésio, além de neutralizar a acidez do solo, verificado pelo aumento do pH do solo e pela neutralização do alumínio fitotóxico.

Tabela 3 – Máxima eficiência dos parâmetros analisados, submetidos a aplicação de calcário e silicato em um Argissolo Vermelho distrófico típico, cultivado com cana-de-açúcar

Parâmetros Considerados	Produção (t/ha)	Diâmetro do Caule (mm)	Massa Total (t/ha)
Calcário	-	23,36	110,45
Silicato	94,43	23,05	-
Média	94,43	23,21	110,45

Em relação ao pH CaCl₂ do solo, observou-se que a aplicação de calcário e silicato foi eficiente em aumentar o pH CaCl₂, o que por consequência aumentou a produtividade (Figura 2A), o acúmulo de matéria seca total de plantas (Figura 2B) e matéria seca foliar (Figura 2C), o que contribuiu para o aumento no diâmetro de colmos (Figura 2D).

A utilização de calcário e silicato propiciou aumento no valor de pH CaCl₂ acima de 4,8 o que indica valores próximos a 5,0, considerado como ideal (Quaggio, 2000),

demonstrando que os dois produtos corretivos testados foram eficientes em corrigir a acidez do solo e propiciar boas condições para o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Nestas condições, o crescimento das plantas de cana-de-açúcar apresentou melhores condições, o que resultou em maior capacidade produtiva (Figura 2A). Este aumento na produtividade e melhoria no desenvolvimento da cana-de-açúcar pode ter ocorrido porque, quando ocorre aumento no pH, ocorre aumento da capacidade do solo em adsorver N e K, reduzindo suas perdas por lixiviação.

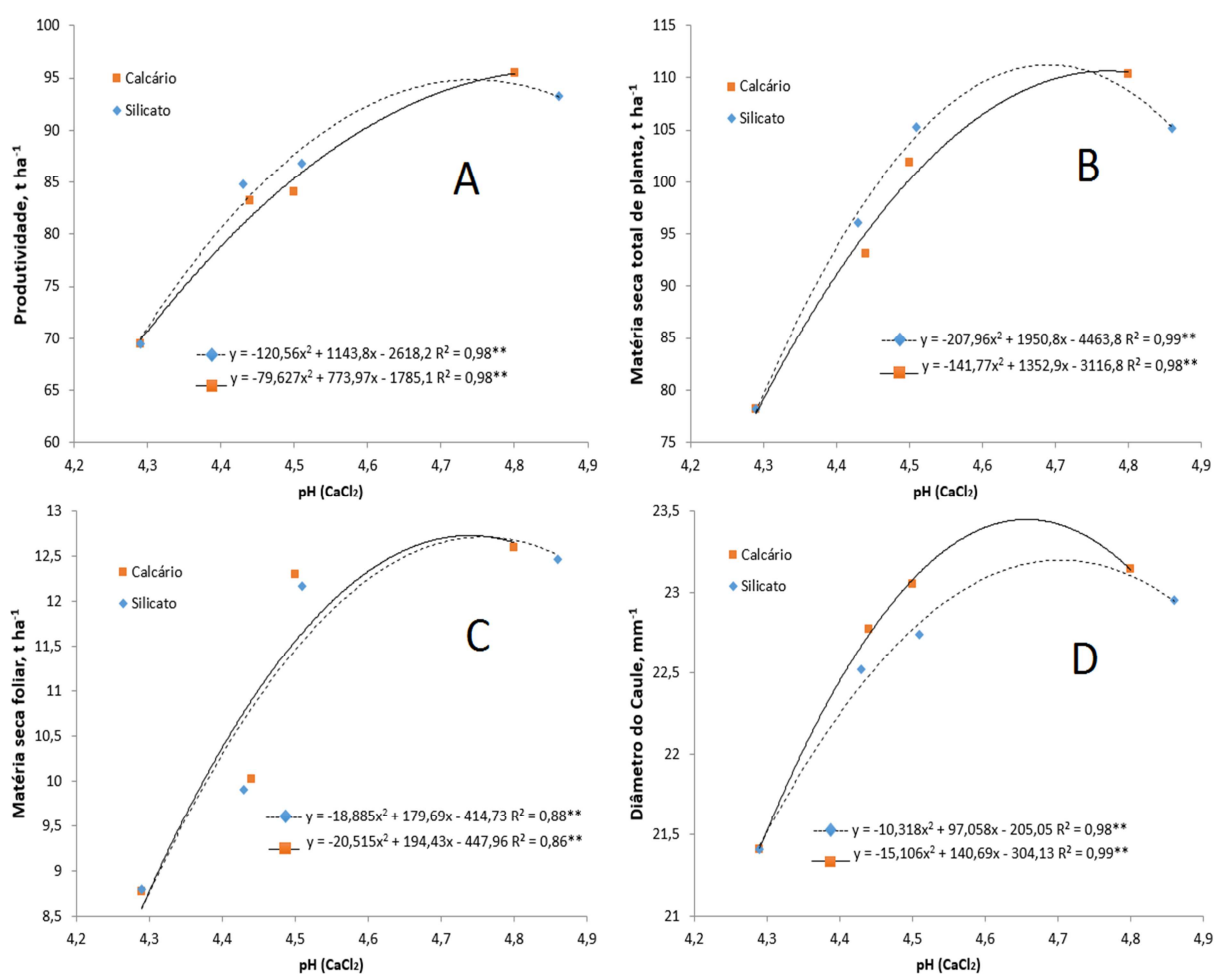


Figura 2 – Produtividade de cana-de-açúcar (A), matéria seca total de plantas (B), matéria seca foliar (C) e diâmetro do caule (D) em relação ao pH CaCl₂ influenciado pelas diferentes doses de calcário e silicato aplicado em um Latossolo Vermelho distrófico típico. ******Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O potássio é o nutriente mais extraído pela cultura e que apresenta potencial de perdas por lixiviação em condições de alta acidez do solo, como foi observado por Rossetto et al.

(2004). Segundo Barbosa et al. (2003), em estudos sobre lixiviação comparando o efeito do silicato e calcário na correção do pH, o silicato apresentou melhor correção do pH até 25 cm de profundidade, além de ter fornecido silício. Isso pode ter ocorrido pelo fato do silicato apresentar uma solubilidade 6,78 vezes superior ao calcário, sendo mais eficaz em maiores profundidades que o calcário, produto que apresenta baixa solubilidade.

A aplicação de calcário e silicato também foi eficiente em aumentar a saturação por bases. Observa-se que os corretivos aumentaram a saturação por bases, o que aumentou o crescimento das plantas e o potencial produtivo (Figura 3) até um valor máximo. A aplicação superficial de calcário tem a capacidade de elevar os teores de cálcio e magnésio trocáveis no solo e também neutralizar a acidez do solo, influenciando de forma positiva os valores de V%. Os silicatos promovem reações químicas similares às que ocorrem com o calcário, aumentando o pH, neutralizando o Al^{+3} , aumentando V% e diminuindo a saturação por alumínio (Amaral et al., 2004).

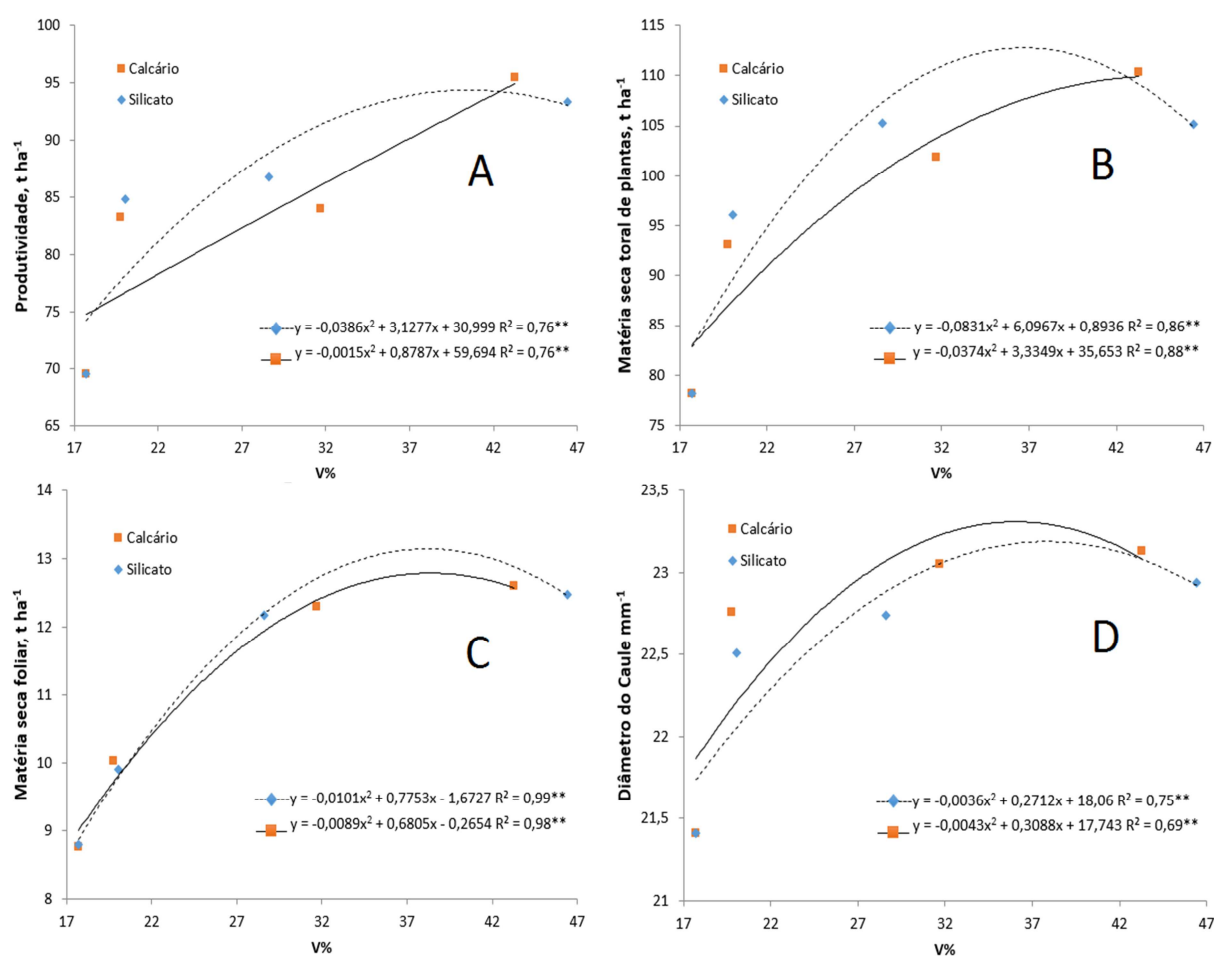


Figura 3 – Produtividade de cana-de-açúcar (A), matéria seca total de plantas (B), matéria seca foliar (C), diâmetro do caule (D) em relação ao V% influenciado pelas diferentes doses de calcário e silicato aplicado em um Latossolo Vermelho distrófico típico. **Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O aumento da produtividade da cana-de-açúcar pode ter ocorrido como resultado do acúmulo de Si na planta, provavelmente, devido a redução da transpiração e melhoria na estrutura da planta como observou Silveira Junior et al. (2001) quando comparou o efeito do silicato de cálcio ao do calcário. Por outro lado, Demattê et al. (2011) afirma que a ação positiva no aumento da produtividade com o uso do silicato, está relacionada mais ao seu efeito corretivo no solo do que propriamente a ação do Si. Assim, a aplicação de silicato como corretivo de acidez do solo, pode ser uma boa alternativa de substituição ao calcário, possuindo ainda como vantagem, o fornecimento de Si às plantas.

Observa-se que a saturação por bases atingiu valores abaixo dos 50%, preconizados como ideal (Sfredo, 2008) para solos arenosos. Isto pode ter ocorrido em função do PRNT do calcário e pelo solo arenoso, o qual apresenta uma baixa CTC e menor efeito residual. Assim, pode-se concluir que a maior ação do calcário em solos arenosos provavelmente esteja relacionado com o fornecimento de nutrientes (Sousa e Lobato, 2004), pois a neutralização da acidez ocorreu ($\text{pH-CaCl}_2 > 4,8$), sem ocorrer incremento na saturação por bases até os valores esperados ($V = 50\%$).

Pode-se observar na Figuras 4, que a utilização do calcário e do silicato também influenciaram no aumento dos teores de Ca na cana-de-açúcar, o que proporcionou uma melhor performance da cultura. Observa-se que o uso dos dois produtos corretivos propiciou efeito fertilizante, atingindo valores acima de $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de cálcio, considerado como nível crítico para o nutriente para solos com CTC baixa ($< 5,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), comumente observado em solos de cerrado (Sousa e Lobato, 2004). Observa-se que para a produtividade (Figura 4a), parâmetro indicador de lucratividade da cana-de-açúcar, os dois corretivos foram bastante semelhantes, o que demonstra a importância do silicato na capacidade de fornecer Ca em solução.

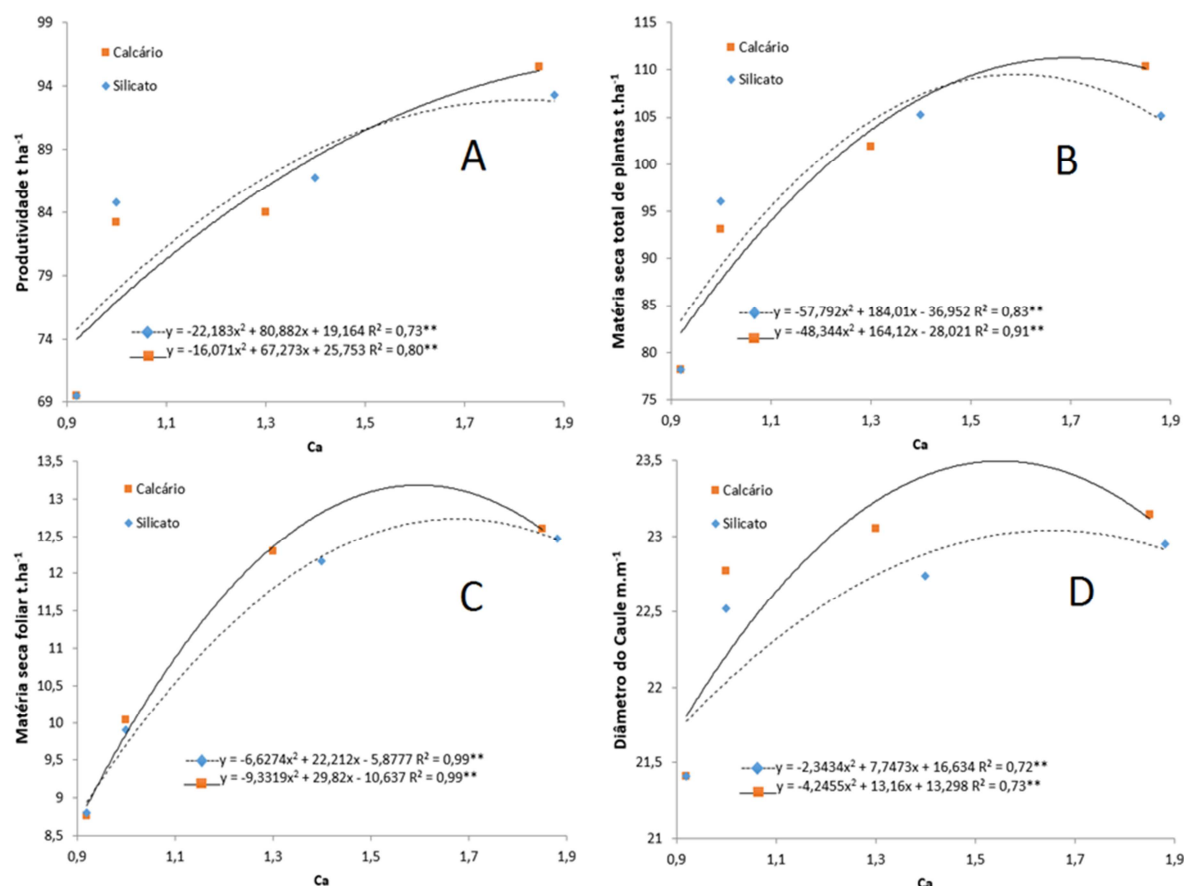


Figura 4 - Produtividade de cana-de-açúcar (A), matéria seca total de plantas (B), matéria seca foliar (C), diâmetro do caule (D) em relação ao teor de Ca (cmol_c/dm³) influenciado pelas diferentes doses de calcário e silicato aplicado em um Latossolo Vermelho distrófico típico. **Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em relação ao magnésio (Figura 5), observou-se que a aplicação de calcário e silicato se mostrou eficiente em aumentar os teores de nutrientes, o que consequente resultou em aumento de produtividade. Observa-se que os dois corretivos aumentaram a concentração de magnésio, atingindo valores acima de 0,9 cmol_c kg⁻¹ valor similar ao preconizado como ideal (1,0 cmol_c kg⁻¹) para o cultivo de plantas (Comissão..., 2004). Segundo Amaral et al., (2004) o calcário aplicado em superfície, além de corrigir a acidez, aumenta significativamente o pH e eleva os teores de Ca e Mg trocáveis do solo. Os silicatos demonstraram também a eficiência em aumentar a disponibilidade de magnésio, da mesma maneira como o calcário além de apresentar maior reatividade em maiores profundidades que o calcário (Foltran e Crusciol, 2007). Além disso, as escória são fontes de silício, elemento capaz de aumentar a resistência das plantas a estresse biótico e abiótico, o que proporciona aumentos em produção (Korndörfer et al., 2002).

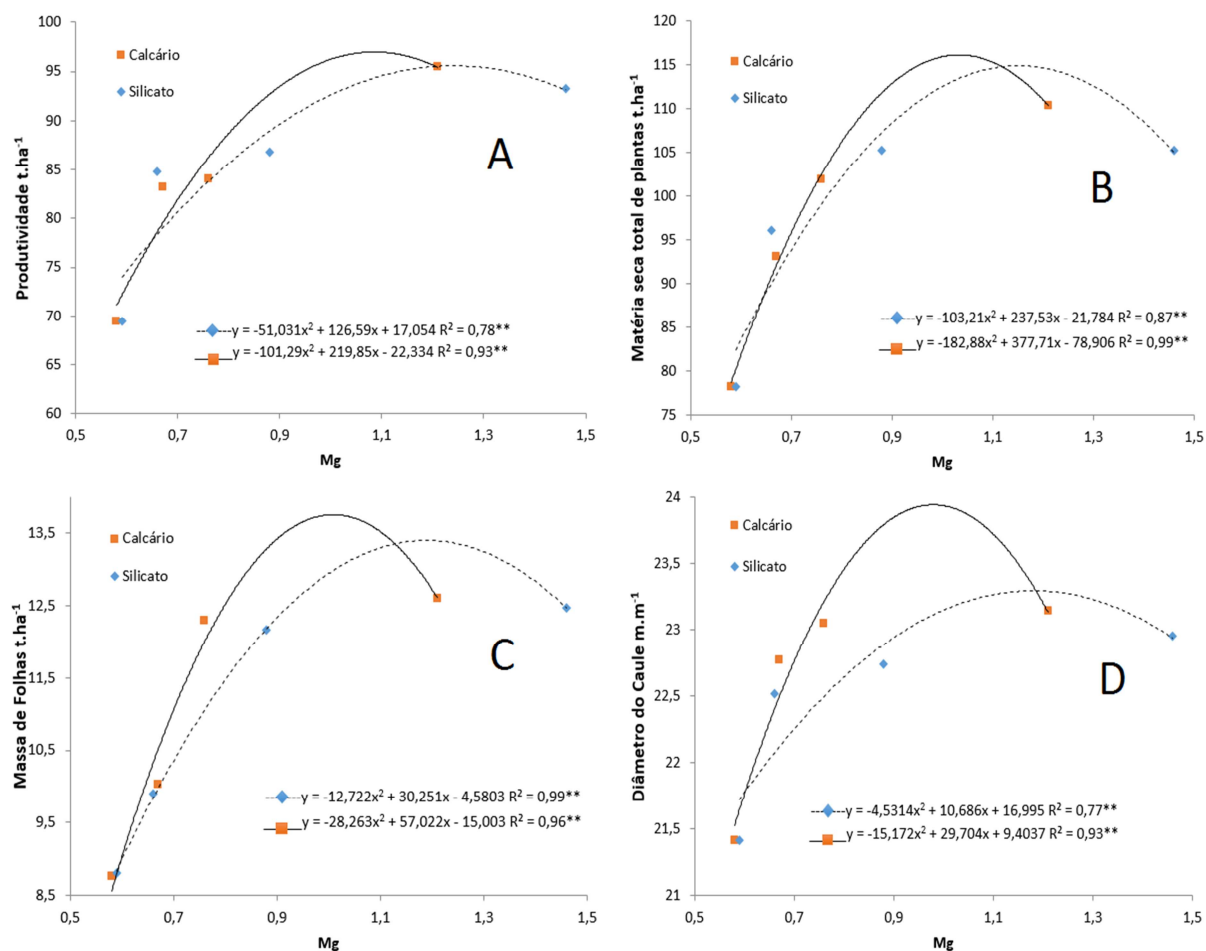


Figura 5 - Produtividade de cana-de-açúcar (A), matéria seca total de plantas (B), matéria seca foliar (C), diâmetro do caule (D) em relação ao teor de Mg (cmol_c dm⁻³) influenciado pelas diferentes doses de calcário e silicato aplicado em um Latossolo Vermelho distrófico típico. **Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Baseando-se nas Figuras 2, 3, 4 e 5 pode-se estabelecer o valor dos atributos químicos baseados na máxima eficiência técnica dos parâmetros de planta de cana-de-açúcar (Tabela 3) testados. O melhor desenvolvimento de cana-de-açúcar foi obtido quando o pH CaCl₂ foi de 4,8 e 4,7 para o calcário e silicato respectivamente. Estes valores são próximos ao preconizado como valor de pH CaCl₂ ideal (5,0-5,5) para as culturas comerciais (Quaggio, 2000) condição onde ocorre neutralização do alumínio tóxico (Al⁺³). Vitti (2013), em São Paulo, também obteve valores de pH em CaCl₂ próximos a este (4,4), trabalhando com solos arenosos.

Observou-se que a melhor performance da cana-de-açúcar foi atingida quando a saturação por bases esteve na faixa entre 36 e 45%, sendo a média de 40 e 38% de saturação por bases para o calcário e silicato, respectivamente, inferior ao preconizado como ideal (50%) para o cultivo de cana-de-açúcar em solos arenosos (Correção..., 2008, Sfredo, 2008) e muito inferior aos valores de 60 (Raij et al., 1997) e 65% (Comissão..., 2004) preconizados

para a cultura da cana-de-açúcar em solos sob diferentes texturas. Assim, pode-se concluir que a dosagem indicada para elevar a saturação por bases até 60-65% não indica a real necessidade de calagem para os solos arenosos, sendo o valor de 50% o mais próximo das condições testadas no presente estudo.

Tabela 3 - Máxima eficiência técnica dos atributos químicos do solo, submetidos a aplicação de calcário e silicato em um Latossolo Vermelho distrófico típico cultivado com cana-de-açúcar

Parâmetros Considerados	Corretivo	pH (CaCl ₂)	V (%)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)
Produtividade	Calcário	4,9	-	-	1,09
	Silicato	4,7	41	1,84	1,24
Massa Total	Calcário	4,8	45	1,70	1,03
	Silicato	4,7	37	1,60	1,15
Massa de Folhas	Calcário	4,7	38	1,60	1,01
	Silicato	4,7	38	1,68	1,19
Diâmetro do Caule	Calcário	4,7	36	1,55	1,19
	Silicato	4,7	38	1,66	1,18
Média	Calcário	4,8	40	1,62	1,08
	Silicato	4,7	38	1,70	1,19

Em relação ao cálcio trocável, observou-se que o melhor crescimento e produtividade de cana-de-açúcar foi obtido com teor médio de 1,62 e 1,70 cmol_c dm⁻³ para calcário e silicato, respectivamente, semelhante aos preconizados como ideais (1,5 cmol_c dm⁻³) para solos do estado de Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999), e inferiores aos valor de 4,0, considerado como ideal para o RS e SC (Comissão..., 2004). Isto ocorre porque em solos com alto teor de argila (>60%), a alta CTC do solo (>15,0 cmol_c dm⁻³) possibilita um aumento da concentração de cálcio em solução, o que certamente contribui para o aumento de produtividade. Entretanto, em solos arenosos, como o do presente trabalho, a CTC é considerada baixa (<5,0 cmol_c dm⁻³), o que reduz a possibilidade de incremento nos teores de cálcio em solução.

Observou-se que o melhor desenvolvimento da cana-de-açúcar foi obtida quando os teores de Mg de 1,08 e 1,19 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para calcário e silicato, respectivamente, semelhante ao valor considerado como ideal para o desenvolvimento de culturas comerciais (1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), conforme a Comissão... (2004). Isto demonstra o efeito de fertilização magnesiana, proveniente tanto do calcário como o silicato, demonstrando que as doses ideais (1722 e 1672 kg ha^{-1} de calcário e silicato, respectivamente) foram suficientes para atender o suprimento do nutriente para a cana-de-açúcar.

CONCLUSÕES

A aplicação de calcário e silicato no solo foram igualmente eficientes no aumento da produtividade e desenvolvimento da cana-de-açúcar. A máxima produção de cana-de-açúcar foi de 94,43 t ha^{-1} , com a aplicação de 1722 e 1672 t ha^{-1} de calcário e silicato, respectivamente.

A melhor performance da cana-de-açúcar foi atingida com valores de pH de 4,8 e 4,7, saturação por bases de 40 e 38% e teor de Ca = 1,62 e 1,70 e teor de Mg = 1,08 e 1,19 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente para calcário e silicato.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.115-123, 2004.
- BARBOSA, D. S.; CAMARGO, M. S.; RAMOS, L. A.; RESENDE, R. H.; ARRUDA, D. G.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Correção da acidez do solo em profundidade e disponibilidade de silício proporcionados pela aplicação de silicato e calcário em lisímetros. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 2, 2003, Lavras. **Anais**. Lavras: UFLA, 4p.
- CAMARGO, M.S.; GOMES JÚNIOR, A.R.; KORNDÖRFER, G.H. Produtividade e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar: efeito de doses de silício e variedades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32, 2011, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia: UFU. 4p.
- CIOTTA, M. N., BAYER, C., ERNANI, P. R. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.48, n.2, p.317-326, 2004.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul/EMBRAPA/CNPT, 1995. 224p.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. V.4, Brasília. 2013.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. V.1, Brasília. 2014.

DEMATTE, J.L.I.; PAGGIARO, C.M.; BELTRAME, J.A.; RIBEIRO, S.S. **Uso de silicatos em cana-de-açúcar**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 133, p. 7-12, 2011.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2005. 47p. (Dissertação em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Correção e manutenção da fertilidade do solo. In: EMBRAPA SOJA (Ed.) **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil** - 2008. Londrina: Embrapa, 2008. p.85-109 (Embrapa Soja. Sistemas de Produção,12).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília:EMBRAPA, 353p. 2013.

FOLTRAN, R.; CRUSCIOL, C. A. C. Aplicação superficial de calcário e silicato de cálcio associado ou não ao gesso em soqueira de cana-de-açúcar sem queima prévia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4, 2007, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, p.195-198.

HOFFMANN, H. P.; SANTOS, E. G. D.; BASSINELLO, A. I.; VIEIRA, M. A. S. **Variedade RB de Cana-de-açúcar**. 1. ed. Araras: CCA/UFSCar, 2008. 30p.

KIDDER, G.; GASCHO, G.J. **Silicate slag recommended for specified conditions in Florida**. Gainesville: University of Florida, 1997. 2p.

KORNDÖRFER, G.H., COLOMBO, C.A.; RODRIGUES, L.L. Effect of thermo-phosphate as silicon source for sugarcane. In: INTER-AMERICAN SUGAR CANE SEMINAR, 2, 1998, Miami. **Anais**. Miami: Fl., 3 p.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 1. ed. Uberlândia: UFU/GPSi, 2002. 23 p.

MALAVOLTA, E. VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das planta**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

OLIVEIRA, W. M.; GUERREIRO, J. C. **Aplicação superficial de silicato e gesso na cana-de-açúcar sem despalha a fogo**. 2009. Disponível em http://www.agronomianet.com.br/Cana_de_acucar.htm. S/D. Acesso em 19 set. 2013.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ap. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. 359p.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com doses de Potássio**. Bragantia, Campinas, v. 63, n. 1, 2004, p. 105-119.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: Calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: EMBRAPA, 2008. 148 p.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SILVEIRA JUNIOR, E. G.; PENATTI, C.; KORNDÖRFER, G. H.; CAMARGO, M.S. **Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar**. Usina Catanduva. Disponível em http://agronelliagricola.com.br/enviados/Producao_Cana_de_Acucar_10.pdf. 2001. Acesso em 29 set. 2013. 4p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Editora Artmed, 2004. 719 p.

TEDESCO, M. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed Porto Alegre: Depto. Solos / UFRGS. 1995. 174p.

VITTI, G. C.; IKEDA, R.; ALTRAN, W. S. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar. In: III SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2006, São Paulo, **Anais**. São Paulo: USP, 148p.

VITTI, G. C. **Correção do Solo e Adubação da Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: Esalq, 2013. 284p.

Recebido para publicação em: 12/03/2014

Aceito para publicação em: 30/06/2014