

Avaliação da mistura de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre na produção de cana-de-açúcar

Bruno Nicchio^{1*}, Gaspar Henrique Korndörfer², Hamilton Seron Pereira²,
Gustavo Alves Santos³

¹Trabalho parte da Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura” (GPSi), Campus Umuarama, Cx. P. 593, CEP: 36.800-000, Uberlândia, MG, BR.

²Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura” (GPSi), Campus Umuarama, Uberlândia, MG, BR.

³KP Consultoria, Uberlândia, MG, BR.

E-mail autor correspondente: bruno_nicchio@hotmail.com

Artigo enviado em 31/01/2019, aceito em 28/08/2019.

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito agrônômico da aplicação de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre na cana-de-açúcar, em cana planta e cana soca. Os estudos foram conduzidos em dois locais, durante dois cultivos. Os tratamentos avaliados foram: testemunha, SFT, SFT + S⁰, SFT + Gesso, MAP + S⁰, MAP + Gesso, FNR Reativo + S⁰, FNR Bayóvar + Gesso, FN alta reatividade + SFT + S⁰ e FN baixa reatividade + SFT + S⁰, aplicados no momento do plantio na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de S, respectivamente. O SFT, MAP e FNR Bayóvar foram misturados com S⁰ e gesso antes da sua aplicação no solo. O FN de alta e baixa reatividade foram aplicados com o SFT e S⁰ incorporados ao grânulo. Foram avaliados: tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de açúcar por hectare (TAH), ATR, pH, P e S no solo (0-20 e 20-40 cm). A mistura de fertilizantes fosfatados (SFT, MAP e FNR Bayóvar) e enxofre elementar foi eficiente em aumentar a produção de colmos e açúcar e os teores de fósforo no solo. O fosfato natural de alta e baixa reatividade ambos incorporados com SFT e S⁰ no grânulo foram mais eficientes em aumentar os teores de fósforo no solo que o fosfato natural reativo Bayóvar misturados com enxofre elementar e gesso. O efeito positivo dos tratamentos com gesso em relação ao enxofre elementar pode estar relacionado à intensidade do estresse hídrico e as condições de cultivo verificado em um dos experimentos.

Palavras-chave: Fosfato reativo, MAP, enxofre elementar, gesso e *Saccharum spp.*

Effect of the mixture of acidulated phosphates, natural phosphates and sulfur sources in sugarcane production

Abstract: This study evaluated the agronomic effect of the application of acidulated phosphates, natural phosphates and sulfur sources in sugarcane, both in plant and ratoon cane. The studies were conducted at two sites during two growing seasons. The treatments evaluated were: control, TSP, TSP + S⁰, TSP + Gypsum, MAP + S⁰, MAP + Gypsum, Bayovar Rock Phosphate + S⁰, Bayovar Rock Phosphate + Gypsum, high reactivity Natural Phosphate + TSP + S⁰, and low reactivity Natural Phosphate + TSP + S⁰, applied at the time of planting at the rate of 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and 40 kg ha⁻¹ of S, respectively. The TSP, MAP and Bayovar Rock Phosphate were mixed with S⁰ and gypsum before their application on the soil. The high and low reactivity natural

phosphates were both applied with the TSP and S⁰ incorporated into the granule. The cane tonnage per hectare, sugar yield, TRS, soil pH, P, and S (0-20 and 20-40 cm) were evaluated. The mixture of phosphate fertilizers (TSP, MAP and Bayovar Rock Phosphate) with elemental sulfur was efficient in increasing of cane tonnage and sugar yield and the levels of phosphorus in the soil. The high and low reactivity natural phosphates, incorporated with TSP and S⁰ in the granule were more efficient increasing phosphorus content in the soil than the Bayovar Rock Phosphate mixed with elemental sulfur and gypsum. The positive effect of gypsum treatments in comparison to elemental sulfur may be related to the intensity of the water stress and the cultivation conditions observed in one of the experiments.

Keywords: Rock phosphate, MAP, elemental sulfur, gypsum and *Saccharum* spp.

Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, cultura de grande importância para o agronegócio brasileiro. Estima-se uma área de colheita em 8.634,2 milhões de hectares para safra 2018/2019 com uma produção estimada de 615,8 milhões de toneladas e produtividade de 71,32 t ha⁻¹ (CONAB, 2018). O cultivo de grandes culturas tem crescido e um fator que tem influenciado o aumento na produtividade de maneira drástica é o uso de fertilizantes minerais, entretanto, a ausência de reservas de matéria-prima de boa qualidade aliado ao elevado custo de processamento, produção e importação de fertilizantes, torna a competitividade das commodities agrícolas brasileiras no mercado internacional um grande desafio (STIPP e CASARIN, 2010; FAO, 2013; FIORINI et al., 2016).

Até 2061, estima-se que mais 77% do crescimento futuro na produção agrícola será em função do avanço de produtividade, o que torna os fertilizantes insumos de grande relevância para esse aumento (FAO, 2013). De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), o consumo de "NPK" no Brasil aumentou na ordem de 14,02% no período de 2015 a 2017, com aumento na importação de 24,74%. Nos últimos

anos, o país apresentou índices crescentes de importação de fertilizantes minerais, sendo mais de 50% para os fertilizantes fosfatados, e mais de 80% para os sulfatados.

Aplicado em larga escala na agricultura brasileira, o fósforo (P) é um nutriente essencial para os sistemas de produção já que na maioria dos solos tropicais apresenta baixa disponibilidade deste elemento, em função das reações de adsorção e precipitação que controlam o destino do P proveniente de fertilizantes (CRUZ et al., 2018). Este nutriente exerce função chave no metabolismo das plantas e na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) faz parte de importantes processos fisiológicos como enraizamento, perfilhamento, desdobramento de açúcares, formação de sacarose (matéria-prima para a produção de açúcar e álcool) e absorção de outros nutrientes (GARCIA et al., 2018).

As fontes de P mais comuns são classificadas com elevada, intermediária e baixa solubilidade de acordo com sua matéria-prima e tipo de processamento. Os fosfatos de elevada solubilidade ou totalmente acidulados (SFT e MAP), contém elevados teores de P solúvel em água e em contato com o solo são rapidamente dissolvidos podendo ser absorvido pelas plantas ou serem transformados em formas não lábeis. Os fosfatos de intermediária e baixa

solubilidade são fontes que apresentam baixos teores de P solúvel e maior parte do P na forma insolúvel, que pode ser solubilizado ao longo do tempo (efeito residual). Mas, essas fontes são pouco eficientes em função da matéria-prima (origem ígnea ou metamórfica) conter altos níveis de contaminantes (óxidos de Fe e Al) (FINK et al., 2016; CRUZ et al., 2018; NICCHIO et al., 2019a e 2019b).

Uma maneira de aumentar o aproveitamento do P proveniente dos fosfatos naturais seria sua aplicação com fontes solúveis no mesmo grânulo como meio de aumentar a solubilização desses fosfatos de baixa ou intermediária solubilidade e de reduzir as perdas de P provenientes dos fosfatos solúveis. O P proveniente do fosfato solúvel seria aproveitado na fase inicial da cultura e o P proveniente do fosfato insolúvel seria solubilizado através da acidez gerada pela hidrólise do fosfato no grânulo ao longo do desenvolvimento da cultura (SANDIM, 2016).

Mesmo assim, segundo César (2016), a dissolução do fosfato solúvel pode ser muito rápida, o que tornaria a solubilização do fosfato natural mais lenta. Assim, uma possível forma de aumentar a eficiência desta associação seria o emprego de enxofre elementar (S^0) na mistura, pois o S^0 é oxidado por microrganismos no solo a sulfato (SO_4^{2-}) e essa reação poderia gerar acidez capaz de solubilizar o fosfato (RAJAN, WATKINSON e SINCLAIR, 1996).

A estratégia ideal para o melhor aproveitamento de P e S pela cana-de-açúcar pode ser adubação conjunta desses elementos no sulco de plantio através de fontes que apresentem maior eficiência e efeito residual visando melhor nutrição da cana e estabelecimento das soqueiras. Outra vantagem da incorporação no grânulo ou mistura física do S^0 com fosfatos seria a disponibilização de S para a cultura de forma localizada (fosfatos granulados

são comumente aplicados no sulco de plantio), uma vez que se tem observado uma redução do uso de fertilizantes contendo S em sua composição, aliado a intensificação dos sistemas de produção que removem grandes quantidades de S, e da elevação dos custos de produção e transporte de fontes de S, como o gesso agrícola (VITTI e OTTO; SAVIETO, 2015; CÉSAR, 2016).

Considerando que a utilização de fontes de P com fontes de S podem resultar em fertilizantes que permite melhor aproveitamento do P pela cultura (além de fornecer S) do que as fontes convencionais, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito agrônômico da aplicação no sulco de plantio de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre na cana-de-açúcar, em cana planta e cana soca.

Material e Métodos

Dois experimentos visando o estudo do uso de fontes de P e S em cana-de-açúcar foram conduzidos entre os anos de 2015 a 2016 (primeiro ano, cana planta) e de 2016 a 2017 (segundo ano, cana soca) em condições de campo nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

O primeiro experimento foi conduzido em parceria com a Usina Bunge, Unidade Ouroeste, em área experimental de produção comercial de cana-de-açúcar, localizada no município de Ouroeste-SP. O local é para uso experimental e a área selecionada recebeu aplicação de calagem e gessagem um ano antes do plantio.

Durante os dois anos de condução do experimento, esta área apresentou precipitação pluviométrica acumulada de 1795 e 1586 milímetros, médias mensais de 119 e 132 milímetros de chuva no período de cultivo da cana planta e soca, respectivamente (Figura 1).

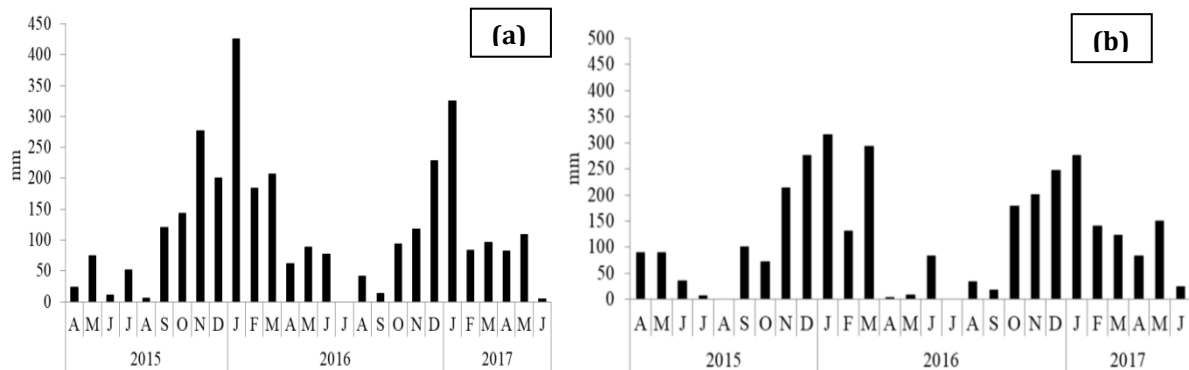


Figura 1. Precipitação pluviométrica mensal acumulada da região de Ouroeste (a) e Uberaba (b), no período entre abril de 2015 e junho de 2017 (Fonte: INMET, 2018).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho de textura média (SANTOS et al., 2018), cujas características químicas e físicas das

camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do solo das áreas experimentais no momento da instalação dos experimentos em Ouroeste-SP e Uberaba-MG

Ouroeste - SP											
Profun	pH CaCl ₂	P-Res	S	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	MO	
		---mg dm ⁻³ ---				-----cmol _c dm ⁻³ -----			--%--	dag kg ⁻¹	
0-20	5,1	26,6	8,0	0,05	1,8	0,7	1,60	4,15	61,4	1,8	
20-40	4,9	16,4	17,0	0,04	1,6	0,6	1,70	3,94	56,9	1,3	
Areia Total			Silte				Argila				
-----g kg ⁻¹ -----											
762			13				225				
Uberaba - MG											
Profun	pH CaCl ₂	P-Res	S	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	MO	
		--mg dm ⁻³ --				-----cmol _c dm ⁻³ -----			--%--	dag kg ⁻¹	
0-20	5,2	11,7	3,0	0,12	1,7	0,6	2,20	4,62	52,4	1,5	
20-40	4,5	7,1	3,0	0,09	1,2	0,3	1,90	3,49	45,6	1,3	
Areia Total			Silte				Argila				
-----g kg ⁻¹ -----											
788			12				200				

Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); V= Saturação por bases.

O segundo experimento foi conduzido em parceria com a Companhia Mineira de Açúcar e Alcool (CMAA), em área de produção comercial de cana-de-açúcar, localizada no município de Uberaba-MG. O local selecionado para instalação do experimento apresentava-se com pastagem (área de expansão), sem nenhum cultivo antecedendo a cana-de-açúcar. Durante os dois anos de condução do experimento, esta área

apresentou precipitação pluviométrica acumulada de 1651 e 1525 milímetros, médias mensais de 110 e 127 milímetros de chuva no período de cultivo da cana planta e soca, respectivamente (Figura 2). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (SANTOS et al., 2018), cujas características químicas e físicas das camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de

profundidade são apresentadas na Tabela 1.

Os experimentos foram instalados no ano agrícola 2015/16 com delineamento experimental em blocos casualizados, com 10 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos

consistiram da aplicação de diferentes fontes de P e S aplicados apenas no sulco de plantio manualmente, em linha no fundo e na lateral do sulco, imediatamente antes do plantio da cana planta (Tabela 2).

Tabela 2. Tipo de fertilizante, quantidade dos nutrientes e das fontes fornecidas em cada tratamento.

Tratamento	Fonte de P	Dose			
		P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Fonte de P (kg por parcela)	S (kg ha ⁻¹)	Fonte de S (kg por parcela)
Testemunha	-	0	0	0	0
2	SFT	120	2,93	0	0
3	SFT + S ⁰	120	2,93	40	0,5
4	SFT + Gesso	120	2,93	40	3,0
5	MAP + S ⁰	120	2,81	40	0,5
6	MAP + Gesso	120	2,81	40	3,0
7	FNR Bayovar + S ⁰	120	4,65	40	0,5
8	FNR Bayovar + Gesso	120	4,65	40	3,0
9	FN Baixa Reatividade ¹ + SFT + S ⁰	120	6,42	57	6,4
10	FN Alta Reatividade ² + SFT + S ⁰	120	7,10	75	7,1

¹Rocha de Catalão (GO/BR); ²Rocha Bayóvar (Perú).

Foram utilizadas cinco fontes de fósforo, sendo três fontes comerciais: superfosfato triplo (SFT); monoamônio fosfato (MAP); fosfato natural reativo (FNR) Bayóvar (Sechura – Peru) e dois fosfatos naturais (baixa e alta reatividade), ainda em fase de testes. Para examinar as hipóteses deste ensaio o SFT, MAP e FNR Bayóvar foram misturados com gesso agrícola e também com enxofre elementar (S⁰) pastilhado (nome comercial Sulfurgran®) antes de serem aplicados no solo. Além disso, utilizou-se o fosfato natural (FN) de baixa reatividade + SFT + S⁰, que é um fertilizante mineral complexo granuloso, fabricado com rocha fosfática Catalão, SFT e S⁰ incorporados ao grânulo; e o FN de alta reatividade + SFT + S⁰, que também é um fertilizante mineral complexo granuloso, fabricado com rocha fosfática Bayóvar, SFT e S⁰ incorporados ao grânulo. Ambos os fosfatos apresentam relação P:S de 2:1 e com 5% de bentonita. Em função das duas fontes

apresentarem o S⁰ incorporado no grânulo às doses de S foram proporcionais à dose de P estabelecida. A quantidade de P aplicada foi calculada em função dos teores totais de P das fontes avaliadas. As principais descrições químicas das fontes de fósforo e enxofre utilizadas neste estudo encontram-se na Tabela 3.

As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de 10 m de comprimento (75 m²) espaçadas em 1,5 m entre si e 2 m nas cabeceiras. Após aplicação dos tratamentos realizou-se o plantio em ambas as áreas. Em Ouroeste, o plantio foi feito em área não irrigada de forma manual com a distribuição de 5-10 gemas sadias por m⁻¹, da variedade CTC 15, na profundidade de 35 - 40 cm. As mudas receberam um tratamento térmico (30 min a 52^o C) em banho maria visando eliminar chances de raquitismo. Esta variedade destaca-se por ser resistente ao estresse hídrico, apresenta boa produtividade, maturação média-tardia e se adapta aos ambientes

mais restritivos, porém pode florescer (SESSO, 2014). A adubação de plantio utilizada foi de 285 kg ha⁻¹ do formulado 09-00-00 + 1% Zn. No cobridor foi

utilizado Regente (0,1 kg ha⁻¹), Comet (0,5 L ha⁻¹) e Biozyme 0,5 L ha⁻¹. No quebra lombo (100 dias após o plantio) 340 kg ha⁻¹ do formulado 10-00-40.

Tabela 3. Caracterização das fontes de P e S, com relação aos teores de P₂O₅ total, em H₂O, em CNA+H₂O e em ÁC² 1:100 e Ca, Mg e S.

Fonte de P e S	P ₂ O ₅			Ca	N	S
	CNA ¹ +H ₂ O	ÁC ² 1:100	Total	Total		
	----- % -----					
SFT	41	-	46	13	-	-
MAP	48	-	52	12	10	-
FNR Bayóvar	-	14	29	32	-	-
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰	21	-	21	17	-	10
FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	19	7	19	17	-	12
Gesso	-	-	-	17	-	15
Enxofre Elementar (S ⁰) Pastilha [†]	-	-	-	-	-	90

¹CNA = citrato neutro de amônio; ²ÁC = Ácido Cítrico a 2%; [†]9,5% de bentonita em p/p do produto final.

Em Uberaba, o plantio em área não irrigada, mecanicamente, com a distribuição de 22 gemas sadias por m⁻¹ via distribuidora de cana (antoniose), variedade RB 92-579, na profundidade de 35 a 40 cm. Esta variedade apresenta ótima brotação na planta e na soca, alto perfilhamento, floresce pouco e com velocidade lenta de crescimento e maturação média (outubro a janeiro). A adubação de plantio utilizada foi de 25 kg ha⁻¹ de N e no quebra lombo foi aplicado 400 kg ha⁻¹ do formulado 10-00-40. No cobridor foi utilizado Regente (0,25 kg ha⁻¹) e Comet (0,5 L ha⁻¹).

No momento da colheita da cana planta (12 meses/primeiro corte) e cana soca (12 meses/segundo corte), em ambos os experimentos foi realizado o corte da cana crua manualmente de nove metros lineares, sem falha, das três linhas centrais da parcela, despontada (retirada das folhas do colmo) e em seguida pesada com o auxílio de um tripé acoplada a uma balança (capacidade para 0,5 a 2 t) para determinação do peso de cada uma das parcelas. O peso de colmos obtido foi extrapolado para t ha⁻¹, resultando nos valores de TCH (tonelada de colmos por hectare).

Além disso, foram retirados 10 colmos cortados em cada uma das parcelas, amostrando o material colhido para envio ao laboratório e determinação do Açúcar Teórico Recuperado (ATR) (kg TC⁻¹) de acordo com metodologia de CONSECANA (2006). Utilizando-se os resultados de produção de colmos por hectare (TCH) e os valores de Pol da cana (%) foram calculados os valores de produção de açúcar por hectare (TAH) de cada um dos tratamentos.

Após data de cada colheita (400 e 775 dias após aplicação) foram retiradas amostras de solo nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade. As coletas foram realizadas com auxílio de um trado acoplado em um motor a gasolina, amostrando-se dois pontos em cada uma das cinco linhas da parcela para cada amostra composta. As amostras, depois de homogêneas foram secas ao ar e posteriormente submetidas à análise de P (extraído com Resina), S e pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹), seguindo metodologia descrita pela EMBRAPA (2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F, p>0,05) havendo significância as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância

com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014), e cada tratamento comparado com a testemunha pelo teste de Dunnett ($p>0,05$) com auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA, 2016). Além disso, visando

comparar o efeito da mistura de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre, realizou-se a análise de contraste entre os tratamentos através do teste de Scheffé ($p>0,05$) com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

Resultados e Discussão

Em ambos os experimentos avaliados, não foram observadas diferenças significativas entre os

tratamentos quando comparados entre si e quando comparados com a testemunha (Tabela 4).

Tabela 4. Açúcar Teórico Recuperado (ATR) por tonelada de colmo (kg TC^{-1}), produção de colmos (TCH) e açúcar (TAH) e produção acumulada de colmos (TCH) e de açúcar (TAH) de dois cortes, em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados contendo S no plantio da cana-de-açúcar.

Tratamentos	Ouroeste-SP (variedade CTC 15)							
	Cana-planta			Cana-soca			Acumulado	
	ATR	TCH	TAH	ATR	TCH	TAH	TCH	TAH
	kg TC^{-1}	t ha^{-1}		kg TC^{-1}	t ha^{-1}			
Testemunha	132,6	139,5	22,0	139,5	65,5	9,2	205,0	31,3
SFT	133,2	138,1	21,6	130,5	69,1	9,0	207,3	30,6
SFT + S ⁰	132,2	163,1	25,6	131,8	68,6	9,0	231,8	34,6
SFT + Gesso	127,4	147,0	22,1	137,1	61,8	8,5	208,8	30,6
MAP + S ⁰	134,2	168,4	26,9	137,6	71,3	9,9	239,7	36,8
MAP + Gesso	125,5	138,3	20,4	133,4	66,8	8,9	205,1	29,3
FNR Bayóvar + S ⁰	131,8	161,3	25,3	134,0	61,6	8,2	223,0	33,5
FNR Bayóvar + Gesso	124,4	147,1	21,6	135,9	60,1	8,1	207,3	29,8
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰	132,1	154,4	23,6	134,2	54,6	7,3	217,3	32,9
FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	129,4	130,6	19,9	137,7	62,1	8,6	192,8	28,5
Médias	130,3	149,0	23,4	135,2	64,2	8,7	213,8	31,8
CV	6,6	20,6	18,1	6,6	19,2	21,3	11,7	15,1
Tratamentos	Uberaba-MG (variedade RB 92-579)							
	Cana-planta			Cana-soca			Acumulado	
	ATR	TCH	TAH	ATR	TCH	TAH	TCH	TAH
	kg TC^{-1}	t ha^{-1}		kg TC^{-1}	t ha^{-1}			
Testemunha	151,9	109,8	16,6	141,9 ab	85,1	12,1	195,0	28,8
SFT	152,4	113,3	16,7	136,3 ab	79,6	10,8	193,0	27,5
SFT + S ⁰	150,3	110,5	17,0	133,6 b	84,6	11,3	195,1	28,4
SFT + Gesso	149,3	110,5	16,9	140,2 ab	87,1	12,2	197,6	29,2
MAP + S ⁰	152,0	108,1	16,4	135,0 ab	85,1	11,4	193,3	27,9
MAP + Gesso	146,4	107,3	15,9	144,3 a	83,6	12,1	191,0	28,0
FNR Bayóvar + S ⁰	147,0	111,0	16,6	143,7 ab	84,5	12,2	195,5	28,8
FNR Bayóvar + Gesso	151,1	114,1	17,4	140,0 ab	81,1	11,4	195,3	28,8
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰	149,9	106,5	16,6	139,2 ab	82,3	11,5	188,8	28,1
FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	150,8	112,0	16,3	142,9 ab	83,5	11,9	195,5	28,3
Médias	150,1	110,3	16,3	136,7	83,6	11,6	194,0	28,4
CV	3,2	6,6	7,9	3,0	7,2	7,1	5,3	5,9

¹Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *Médias diferentes da testemunha por Dunnett ($P<0,05$).

No experimento conduzido em Ouroeste, a produção média acumulada de dois cortes observada foi de 213,75 t ha⁻¹ de TCH e 31,87 t ha⁻¹ de TAH. Já no experimento conduzido em Uberaba-MG, os valores acumulados de TCH e TAH foram de 194,0 e 28,4 t ha⁻¹, respectivamente (Tabela 4).

De acordo com Frandoloso et al. (2010), no Brasil, são poucas as pesquisas sobre o uso de enxofre elementar como fonte de nutrientes para as plantas. Hamid (2014) ao avaliar aplicação de S na forma de sulfato em cana, não verificou diferenças estatísticas, mas observou efeitos positivos da aplicação de S sobre a produção de colmos e açúcar de duas variedades de cana, em três anos de cultivo em solo argiloso no Sudão. Por outro lado, Wiedenfeld (2011) verificou incremento de produção de colmos (cana planta e soca) e açúcar (cana soca) de cana, ao avaliar aplicação de S⁰ em solo alcalino no Texas. Dias et al. (2017), ao avaliar aplicação de S⁰ (50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹), Gesso (1 e 2 t ha⁻¹) e S⁰ (100 kg ha⁻¹) + Gesso (1 t ha⁻¹) em três cortes de cana-de-açúcar (cana planta e cana soca) também observaram que houve resposta na produção de colmos com o uso de S. 1 t ha⁻¹ de gesso agrícola correspondeu aos melhores resultados, porém, a dose de 100 kg ha⁻¹ de S⁰ também correspondeu positivamente.

O segundo experimento apresentou baixos valores de TCH e TAH (com relação ao primeiro experimento) que pode ser justificada em função das características apresentadas no local de cultivo, já que o potencial produtivo era baixo por ser área de expansão (pastagem), sem histórico de cultivo, aliado ao período de inverno e baixos índices pluviométricos (Figura 1b) observados no período inicial e final de desenvolvimento da variedade de cana (RB 92-579), exigente em fertilidade do

solo, o que pode ter aumentado a variabilidade experimental.

O ambiente de produção de cana-de-açúcar pode ser afetado por diversos fatores, sendo definido em função de condições dos solos sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, do controle de ervas daninhas e pragas. Além disso, este ambiente é associado com as condições de subsuperfície dos solos e de clima regional como precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar e evaporação (PEREIRA et al., 1995; SOUSA, 2014; NICCHIO et al., 2019b).

Para os resultados de açúcar teórico recuperável (ATR), somente no segundo cultivo (ensaio de Uberaba-MG), houve diferença significativa entre os tratamentos, onde o MAP + Gesso mostrou-se superior ao SFT + S⁰ (Tabela 4). Corroborando com este resultado, Ferraz et al. (2015) ao avaliarem aplicação de gesso em cana-de-açúcar verificaram incremento de ATR em cana planta e cana soca. A aplicação de gesso agrícola pode contribuir de forma expressiva para o crescimento e desenvolvimento pleno da cana-de-açúcar em função do gesso aumentar a exploração do ambiente radicular e, conseqüentemente, melhor uso da água e nutrientes (ARAÚJO, 2015; FERRAZ et al., 2015). Mas, Pereira et al. (1995) não encontraram resposta da adubação fosfatada nas características tecnológicas de cana-de-açúcar. Segundo os autores, fatores como clima, variedades e manejo do solo exercem influência sobre as características tecnológicas da cana-de-açúcar, dificultando a avaliação do efeito dos fertilizantes sobre esses parâmetros.

O estudo do efeito de fontes de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de S (teste de Scheffé) sobre TCH e TAH encontra-se na Tabela 5. No ensaio de Ouroeste-SP, a mistura de SFT,

MAP e FNR Bayóvar com S⁰ antes do plantio apresentou resultados positivos em cana-planta quando comparados com o SFT (TCH) e quando comparados

com a mistura de SFT, MAP e FNR Bayóvar com Gesso (TCH e TAH) (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de contrastes de tonelada de cana por hectare (TCH), tonelada de açúcar por hectare (TAH), da cana planta e acumulado (soma de cana planta e soca) para avaliar o efeito da aplicação de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre no plantio da cana-de-açúcar em Ouroeste-SP

Tratamentos	Ouroeste-SP (variedade CTC 15)				
	Cana-planta		Acumulado		
	TCH	TAH	TCH	TAH	
SFT	138,1	21,6	207,3	30,6	
vs	x	x	x	x	
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(163,1) + (168,4) + (161,3)*	(25,6) + (26,9) + (25,6)	(231,8) + (239,7) + (223)	(34,6) + (36,8) + (33,5)	
SFT	138,1	21,6	207,3	30,6	
vs	x	x	x	x	
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(147,0) + (138,3) + (147,1)	(22,1) + (20,4) + (21,6)	(208,8) + (205,1) + (207,3)	(30,6) + (29,3) + (29,8)	
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(163,1) + (168,4) + (161,3)	(25,6) + (26,9) + (25,6)	(231,8) + (239,7) + (223)	(34,6) + (36,8) + (33,5)	
vs	x	x	x	x	
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(147,0) + (138,3) + (147,1)*	(22,1) + (20,4) + (21,6)*	(208,8) + (205,1) + (207,3)*	(30,6) + (29,3) + (29,8)*	
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(163,1) + (147,0) + (168,4) + (138,3)	(25,6) + (22,1) + (26,9) + (20,4)	(231,8) + (208,8) + (239,7) + (205,1)	(34,6) + (30,6) + (36,8) + (29,3)	
vs	x	x	x	x	
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(161,3) + (147,1)	(25,6) + (21,6)	(223) + (207,3)	(33,5) + (29,8)	
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(163,1) + (147,0) + (168,4) + (138,3)	(25,6) + (22,1) + (26,9) + (20,4)	(231,4) + (208,8) + (233,1) + (205,1)	(34,6) + (30,6) + (36,8) + (29,3)	
vs	x	x	x	x	
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(154,4) + (130,6)	(23,3) + (19,9)	(209) + (192,7)	(7,3) + (8,6)	
SFT	138,1	21,6	207,2	30,6	
vs	x	x	x	x	
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(154,4) + (130,6)	(23,3) + (19,9)	(209) + (192,7)	(30,6) + (28,5)	
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(161,3) + (147,1)	(25,6) + (21,6)	(223) + (207,3)	(33,5) + (29,8)	
vs	x	x	x	x	
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(154,4) + (130,6)	(23,3) + (19,9)	(209) + (192,7)	(30,6) + (28,5)	
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰ vs FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	(154,4) x (130,6)*	(23,3) x (19,9)	(209) x (192,7)	(30,6) x (28,5)

* significativo pelo teste de Scheffé a 0,05 de significância.

O incremento médio dos fosfatos misturados com S⁰ em relação ao SFT foi de 26,1 t ha⁻¹ de TCH. Já quando comparado com os fosfatos misturados com gesso, o incremento médio dos fosfatos misturados com S⁰ foi de 60,4 t ha⁻¹ de TCH e 14,0 t ha⁻¹ de TAH. Os contrastes para cana-soca não foram significativos, mas para produção acumulada (cana planta e soca) de TCH e TAH, os fosfatos misturados com S⁰

mostraram-se superiores aos fosfatos quando misturados com gesso, com incrementos na ordem de 83,3 t ha⁻¹ de TCH e 15,2 t ha⁻¹ de TAH (Tabela 5).

As análises de contrastes para TCH e TAH de cana-planta e produção acumulada do ensaio de Uberaba-SP, não demonstraram diferenças estatísticas (Tabela 6). Mas em cana-soca, a média de TAH foi significativamente superior para SFT,

MAP e FNR Bayóvar misturados com Gesso em comparação com SFT.

Tabela 6. Análise de contrastes de tonelada de cana por hectare (TCH) e açúcar (TAH) da cana soca para avaliar o efeito da aplicação de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre no plantio da cana-de-açúcar em Uberaba-MG

Tratamentos	Uberaba-MG (variedade RB 92-579)	
	Cana-soca	
	TCH	TAH
SFT	79,6	10,8
vs	x	x
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(84,6) + (85,1) + (84,5)	(11,3) + (11,4) + (12,2)
SFT	79,6	10,8
vs	x	x
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(87,1) + (83,6) + (81,1)	(12,2) + (12,1) + (11,4)*
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(84,6) + (85,1) + (84,5)	(11,3) + (11,4) + (12,2)
vs	x	x
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(87,1) + (83,6) + (81,1)	(12,2) + (12,1) + (11,4)
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(84,6) + (87,1) + (85,1) + (83,6)	(11,3) + (12,2) + (11,4) + (12,1)
vs	x	x
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(84,5) + (81,1)	(12,2) + (11,4)
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(110,5) + (110,5) + (108,1) + (107,3)	(11,3) + (12,2) + (11,4) + (12,1)
vs	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(82,3) + (83,5)	(11,5) + (11,9)
SFT	79,6	10,8
vs	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(82,3) + (83,5)	(11,5) + (11,9)
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(84,5) + (81,1)	(12,2) + (11,4)
vs	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(82,3) + (83,5)	(11,5) + (11,9)
vs	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(82,3) x (83,5)	(11,5) x (11,9)

* significativo pelo teste de Scheffé a 0,05 de significância.

Apesar dos baixos índices pluviométricos observados no período inicial e final de condução deste experimento aliado às condições de cultivo (área, solo, relevo, época de plantio e corte) esses resultados indicam que a associação do gesso aos fosfatos foi mais eficiente em aumentar a produção de açúcar da cana soca. Por ser área de expansão os resultados podem ser considerados satisfatórios. Segundo Nuernberg et al. (2005), o uso de gesso favorece o crescimento radicular e sob condições de deficiência hídrica há o

melhor aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis em profundidade, propiciando uma maior tolerância das plantas aos veranicos (SOARES, 2016).

De acordo com Silva et al. (2018), os fatores climáticos, especialmente índices pluviométricos, têm grande impacto na disponibilidade de nutrientes, na taxa de crescimento das culturas, na eficiência nutricional, na produtividade e na qualidade do açúcar. Por essa razão, recomenda-se a realização de avaliações da produção de cana-de-açúcar por mais de um ano,

visando contemplar tanto as variações climáticas quanto a idade da cultura.

Para pH do solo, verificou-se que no ensaio de Ouroeste-SP houve mudanças significativas nos valores de

pH do solo aos 775 dias após aplicação dos tratamentos, destacando-se os tratamentos SFT, FNR Bayóvar + Gesso e FN Alta Reatividade + SFT + S⁰ (Tabela 7).

Tabela 7. pH, S e P do solo (0-20 cm e 20-40 cm), 400 e 775 dias após a aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados contendo S no plantio da cana-de-açúcar em Ouroeste-SP (variedade CTC 15)

Tratamentos	Ouroeste-SP (variedade CTC 15)					
	400 dias após aplicação			775 dias após aplicação		
	pH	S	P	pH	S	P
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³
	Profundidade 0 – 20 cm					
Testemunha	4,72	5,5	14,8	4,50 ab	7,4	11,1
SFT	4,67	9,2	30,6	4,78 a*	7,0	17,9
SFT + S ⁰	4,81	10,5	30,4	4,65 ab	12,8	25,6
SFT + Gesso	4,83	15,5	22,3	4,62 ab	8,6	18,4
MAP + S ⁰	4,78	6,5	31,5	4,52 ab	20,9	20,7
MAP + Gesso	4,57	13,5	29,9	4,58 ab	13,6	27,5
FNR Bayóvar + S ⁰	4,73	21,0	33,2	4,63 ab	7,7	21,1
FNR Bayóvar + Gesso	4,86	11,0	30,0	4,82 a*	8,7	29,2
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰	4,65	14,0	29,8	4,46 b	22,1 *	25,0
FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	4,83	7,7	30,2	4,74 ab*	7,1	26,0
Médias	4,7	11,4	28,3	4,6	11,6	22,2
CV	3,96	73,0	58,6	2,8	69,9	43,7
	Profundidade 20 – 40 cm					
Testemunha	4,52	5,7	7,0 b	4,36 abc	9,8	8,1
SFT	4,55	8,2	44,0 a*	4,76 ab*	8,1	16,1
SFT + S ⁰	4,66	11,5	31,0 ab	4,38 abc	21,6	26,2 *
SFT + Gesso	4,70	17,2	25,0 ab	4,63 abc	16,0	21,6
MAP + S ⁰	4,60	8,0	26,0 ab	4,32 bc	32,6	22,5
MAP + Gesso	4,45	14,5	34,0 ab*	4,58 abc	17,4	21,7
FNR Bayóvar + S ⁰	4,71	18,5	22,0 ab	4,68 abc	11,7	13,4
18FNR Bayóvar + Gesso	4,46	21,7	19,0 ab	4,77 a*	21,8	23,8 *
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰	4,53	28,2	32,0 ab*	4,24 c	37,8 *	17,3
FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	4,62	9,5	42,0 a*	4,73 ab*	14,5	21,6
Médias	4,5	14,3	28,2	4,5	19,1	19,2
CV	4,96	89,4	41,7	4,0	80,9	46,7

¹Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *Médias diferentes da testemunha por Dunnett (P<0,05).

O tratamento FN Baixa Reatividade + SFT + S⁰ apresentou em ambas as profundidades menores valores de pH, mas teores elevados de S quando comparados com a testemunha. Este tratamento apresentou valores de pH mais baixos possivelmente pelo maior índice de acidez causado pelo S⁰ na área de aplicação e amostragem de solo. Wiedenfeld (2011) verificou redução de pH em quatro cortes consecutivos de cana, ao avaliar

aplicação de S⁰ em solo alcalino do Texas em condições de campo. O mesmo foi verificado por Kirimizarchi et al. (2014) ao avaliar aplicação de S⁰ em solo alcalino da Malásia em condições de casa-de-vegetação.

Os teores de P em amostras de solo (0 a 20 cm de profundidade) no ensaio de Ouroeste-SP não diferiram entre os tratamentos, com média na ordem de 28,1 mg dm⁻³ de P aos 400 dias após aplicação (Tabela 7). Mas na

profundidade de 20 a 40 cm, os teores de P foram superiores a testemunha com os tratamentos SFT, MAP + Gesso, FN de baixa reatividade + SFT + S⁰ e FN de alta reatividade + SFT + S⁰. Segundo Alvarez et al. (1999), os teores de P no solo em ambas as profundidades se apresentam em sua maioria no nível considerado “MUITO BOM” (> 18 mg dm⁻³), “BOM” (12,1 - 18 mg dm⁻³) e “MÉDIO” (8,1 - 12 mg dm⁻³).

Esses resultados corroboram com os de César (2016) ao observar resultados satisfatórios sobre os teores de P em um solo de textura média com a aplicação de rocha de bayóvar associada com S⁰ e MAP ou SFT antes do plantio de soja. Wiedenfeld (2011) verificou incremento nos teores de P (profundidade 0 a 15 cm) no solo em três cortes de cana, ao avaliar aplicação de S⁰ em solo alcalino no Texas. Ao avaliar a associação no mesmo grânulo de fosfato natural de Jacupiranga com SFT, Nachtigall et al. (1989) não verificaram aumento na disponibilidade de P no solo cultivado com milho. Por outro lado, Nicchio et al. (2019a) verificaram incrementos nos teores de P em solo de textura arenosa cultivado com milho ao aplicar fosfatos de baixa solubilidade (fosfatos vale 1, fosfato vale 2 e fosfato parcialmente calcinado farelado).

Os fosfatos naturais proporcionaram incremento nos teores de P no solo semelhantes às fontes aciduladas. Esse comportamento pode ser justificado devido à solubilização da fração do fosfato totalmente acidulado presente nos fosfatos naturais. Além

disso, essa fração solúvel forma uma solução ácida na região do grânulo do fosfato natural durante sua dissolução podendo facilitar sua solubilização (CHIEN, 1996; CÉSAR, 2016). A aplicação conjunta de fosfatos de rocha com uma fonte de elevada solubilidade em água pode apresentar eficiência equivalente à dos superfosfatos (OLIVEIRA JUNIOR, 2007).

Aos 775 dias após aplicação dos tratamentos não houve diferenças significativas para P no solo (0-20 cm), possivelmente justificadas em função da elevada variabilidade experimental das análises de solo, resultando em coeficientes de variação entre 40 a 90% (Tabela 7). Corroborando a esta questão, César (2016) verificou elevado coeficiente de variação nas análises de P disponível do solo, utilizando os extratores Mehlich1, Resina e Bray1 ao avaliar a aplicação localizada de fosfatos contendo S, já que dependendo do tipo de extrator os teores de P podem ser superestimados (SAVINI et al., 2015). Por outro lado, na profundidade de 20-40 cm, o SFT + S⁰ e FNR Bayóvar + Gesso mostraram-se superiores. Segundo Alvarez et al. (1999), os teores de P no solo em ambas as profundidades se apresentam em sua maioria no nível considerado “BOM” (12,1 - 18 mg dm⁻³) e “MÉDIO” (8,1 - 12 mg dm⁻³).

No ensaio de Uberaba-MG, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para os teores de S e pH do solo (profundidade de 0-20 e 20-40 cm) aos 400 e 775 dias após aplicação dos tratamentos (Tabela 8).

Tabela 8. pH, S e P do solo (0-20 cm e 20-40 cm), 400 e 775 dias após a aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados contendo S no plantio da cana-de-açúcar em Uberaba-MG (variedade RB 92-579)

Tratamentos	Uberaba-MG (variedade RB 92-579)					
	400 dias após aplicação			775 dias após aplicação		
	pH	S	P	pH	S	P
	CaCl ₂	mg dm ⁻³		CaCl ₂	mg dm ⁻³	
	Profundidade 0 – 20 cm					
Testemunha	4,97	8,00	6,8 b	5,03	12,29	10,2
SFT	5,14	7,75	15,3 ab	5,04	10,59	10,5
SFT + S ⁰	5,25	9,50	12,8 ab	5,29	17,69	12,9
SFT + Gesso	5,09	8,75	12,9 ab	4,99	10,08	11,2
MAP + S ⁰	5,07	9,00	12,7 ab	4,96	13,30	10,7
MAP + Gesso	5,22	9,25	14,1 ab	5,07	12,52	12,6
FNR Bayóvar + S ⁰	5,20	7,00	15,8 ab	5,28	9,15	12,1
FNR Bayóvar + Gesso	5,36	17,0	25,0 a*	5,38	14,11	11,7
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰	5,16	7,50	16,0 ab	5,01	12,33	14,1
FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	5,45	8,00	18,7 ab	5,05	12,58	14,8
Médias	5,2	9,18	15,0	5,11	12,4	12,0
CV	6,1	62,6	47,8	5,9	39,5	47,8
	Profundidade 20 – 40 cm					
Testemunha	4,56	5,00	11,1	5,01	9,96	10,2 b
SFT	4,92	5,00	27,9	4,84	9,84	23,5 ab
SFT + S ⁰	4,46	10,5	22,7	5,30	19,38	18,2 ab
SFT + Gesso	4,71	8,75	19,2	4,89	12,33	18,3 ab
MAP + S ⁰	4,52	8,50	27,8	4,97	15,24	12,6 ab
MAP + Gesso	4,87	9,75	16,9	5,05	26,12	24,3 ab*
FNR Bayóvar + S ⁰	4,71	9,75	29,3	5,17	14,99	12,7 ab
18FNR Bayóvar + Gesso	4,80	8,50	10,8	5,18	13,19	18,4 ab
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰	4,77	5,75	15,1	4,95	11,0	22,1 ab
FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	4,97	8,25	24,6	4,97	15,63	27,8 ab*
Médias	4,7	7,9	20,5	5,0	14,7	18,8
CV	6,0	53,5	30,5	7,3	66,3	38,0

¹Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *Médias diferentes da testemunha por Dunnett (P<0,05).

Aos 400 dias após aplicação dos tratamentos, os teores de P no solo (0 a 20 cm de profundidade) apresentaram diferenças significativas, destacando-se o tratamento FNR Bayóvar + Gesso quando comparado com a testemunha (Tabela 8). Na profundidade de 20 a 40 não houve diferença significativa entre os tratamentos. Aos 775 dias após aplicação somente na profundidade 20 a 40 cm foi observada diferença significativa, destacando-se maiores teores de P nos tratamentos MAP + Gesso e FN Alta Reatividade + SFT + S⁰.

Os teores de P em ambas as profundidades e avaliações se apresentam em sua maioria no nível considerado “MUITO BOM” (> 18 mg dm⁻³), “BOM” (12,1 - 18 mg dm⁻³) e “MÉDIO” (8,1 - 12 mg dm⁻³) segundo Alvarez et al. (1999).

As análises de contratos para os teores de P no solo 400 dias após aplicação dos tratamentos no ensaio de Ouroeste-SP, demonstraram que o SFT mostrou-se superior aos tratamentos misturados com S⁰ e com Gesso, profundidade 20 a 40 cm (Tabela 9).

Tabela 9. Análise de contrastes dos teores de P nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm para avaliar o efeito da aplicação aos 400 e 775 dias de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre em Ouroeste-SP

Tratamentos	Ouroeste-SP (variedade CTC 15)			
	400 dias		775 dias	
	cm			
	0-20	20-40	0-20	20-40
SFT	30,6	44,3	17,9	27,9
vs	x	x	x	x
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(30,4) + (31,5) + (33,2)	(31,0) + (25,9) + (22,2)*	(25,6) + (20,7) + (21,1)	(22,7) + (27,7) + (29,2)
SFT	30,6	44,3	17,9	27,9
vs	x	x	x	x
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(22,3) + (29,9) + (49,7)	(25,0) + (34,4) + (18,9)*	(18,4) + (27,5) + (29,2)	(19,1) + (16,9) + (10,8)
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(30,4) + (31,5) + (33,2)	(31,0) + (25,9) + (22,2)	(25,6) + (20,7) + (21,1)	(22,7) + (27,7) + (29,2)
vs	x	x	x	x
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(22,3) + (29,9) + (49,7)	(25,0) + (34,4) + (18,9)	(18,4) + (27,5) + (29,2)	(19,1) + (16,9) + (10,8)*
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(30,4) + (22,3) + (31,5) + (29,9)	(31,0) + (25,0) + (25,9) + (34,4)	(25,6) + (18,4) + (20,7) + (27,5)	(22,7) + (19,1) + (27,7) + (16,9)
vs	x	x	x	x
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(33,2) + (49,7)	(22,2) + (18,9)	(21,1) + (29,2)	(29,2) + (10,8)
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(30,4) + (22,3) + (31,5) + (29,9)	(31,0) + (25,0) + (25,9) + (34,4)	(25,6) + (18,4) + (20,7) + (27,5)	(22,7) + (19,1) + (27,7) + (16,9)
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(28,8) + (30,2)	(31,7) + (41,8)	(25,1) + (26,1)	(15,1) + (24,5)
SFT	30,6	44,3	17,9	55,8
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(28,8) + (30,2)	(31,7) + (41,8)	(25,1) + (26,1)	(15,1) + (24,5)
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(33,2) + (49,7)	(22,2) + (18,9)	(21,1) + (29,2)	(29,2) + (10,8)
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(28,8) + (30,2)	(31,7) + (41,8)*	(25,1) + (26,1)	(15,1) + (24,5)
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) vs (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(28,8) x (30,2)	(31,7) x (41,8)	(25,1) x (26,1)	(15,1) x (24,5)

* significativo pelo teste de Scheffé a 0,05 de significância.

Na profundidade de 20-40 cm, os teores de P no solo com os fosfatos naturais de baixa e alta reatividade + SFT + S⁰ mostraram-se superiores que o fosfato reativo Bayóvar + S⁰ (Tabela 9). Os resultados observados com FN de baixa e alta reatividade + SFT + S⁰ podem ser justificados devido a melhor eficiência de solubilização desses fosfatos quando comparado com o fosfato natural reativo Bayóvar. O fosfato solúvel presente nestas fontes pode formar uma solução ácida na região do grânulo durante o processo de dissolução o que facilitaria a

solubilização do fosfato natural, além a oxidação do S⁰ presente no grânulo que aumentaria ainda mais este processo. César (2012) verificou que o S⁰ promoveu aumento da solubilização do fosfato reativo de Gafsa e do fosfato natural de Patos de Minas quando aplicados juntos, aumentando a disponibilidade de P a partir dessas fontes. No entanto, Nachtigall et al. (1989) não verificaram aumento na disponibilidade de P no solo cultivado com milho ao aplicar o FN de Jacupiranga + SFT. O tipo de rocha fosfática associada ao fosfato solúvel na

composição do grânulo também tem importância, pois sua reatividade pode determinar a eficiência de solubilização e efeito residual do fosfato. A aplicação conjunta de fosfatos de rocha reativos ou não, com uma fonte de elevada solubilidade em água na grande maioria das vezes pode apresentar eficiência equivalente à dos superfosfatos (OLIVEIRA JUNIOR, 2007). Trabalhos científicos nesse sentido, já realizados, demonstraram eficiência agrônômica dos fosfatos naturais (alta ou baixa reatividade) associados com SFT, sendo equivalentes ou mais eficientes que os fosfatos totalmente acidulados (NACHTIGALL et al., 1989; CHIEN, 1996; OLIVEIRA JUNIOR, 2007; CÉSAR, 2012 e 2016).

Os contrastes para P no solo aos 775 dias após aplicação dos tratamentos demonstraram que aos 20 a 40 cm de profundidade, os fosfatos (SFT, MAP e FNR Bayóvar) misturados com S⁰ apresentaram maiores teores de P quando comparado com os fosfatos misturados com Gesso (Tabela 9). O mesmo comportamento foi observado no ensaio de Uberaba-MG aos 400 dias após aplicação dos tratamentos (Tabela 11). Corroborando com esses resultados, estudos verificaram que a mistura física de S⁰ com fertilizantes fosfatados aplicados na forma de pó ou farelada apresentaram resultados satisfatórios em solos da Austrália com pH (CaCl₂) entre 4,3 a 5,8 (EVANS e PRICE, 2009). Nascimento (2016) encontrou resultados significativos para os teores de P no solo (camada 0-20 cm) ao avaliar aplicação de diferentes fosfatos em cana, porém, sem diferença na produção de colmos em duas safras de cana. Wiedenfeld (2011) verificou incremento nos teores de P (profundidade 0 a 15 cm) no solo em três cortes de cana, ao avaliar aplicação de S⁰ em solo alcalino no Texas.

Diversos fatores podem ter relação com a eficiência destes fosfatos em solos mais arenosos. A oxidação do S⁰ pode ser favorecida em função da forma do S mais oxidada ser predominante em solos mais drenados e oxigenados. Apesar disso, essa oxidação depende de outros fatores como textura, matéria orgânica, temperatura e umidade do solo, valores de pH, presença de outros nutrientes, tamanho da partícula do adubo e granulometria (GERMIDA e JANSEN, 1993; HOROWITZ e MEURER, 2007; STIPP e CASARIN, 2010; VITTI, OTTO e SAVIETO, 2015; FIORINI et al., 2016).

Aos 775 dias após aplicação dos tratamentos no ensaio de Ouroeste-SP, não foram observadas diferenças significativas nos contrastes entre os fosfatos naturais, possivelmente porque não foram totalmente solubilizados. Apesar da presença de SFT e S⁰ no grânulo destes fosfatos, a acidez gerada no grânulo pode não ter sido suficiente para solubilizar o P proveniente dos fosfatos de rocha. Associado a isso, em solos arenosos o SO₄²⁻ proveniente do S⁰ pode ser perdido por percolação já que sua movimentação nesses solos é maior, o que pode ter reduzido o efeito de solubilização dos fosfatos (STIPP e CASARIN, 2010). Mesmo que estes fosfatos apresentem alta reatividade, sua aplicação de forma localizada no solo pode apresentar baixa eficiência, porque a solubilização do fosfato geralmente é favorecida quando o contato com o solo, sendo mais acentuado este efeito em solos mais argilosos (NASCIMENTO, 2016).

Para os contrastes de S (Tabela 10) no solo (camada 20-40 cm) aos 400 dias após aplicação e TCH em cana-planta (Tabela 5), o fosfato natural de baixa reatividade + SFT + S⁰ foi mais eficiente que o fosfato natural de alta reatividade + SFT + S⁰.

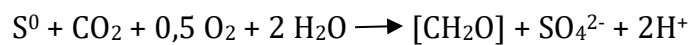
Tabela 10. Análise de contrastes dos teores de S nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm para avaliar o efeito da aplicação aos 400 e 775 dias de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre em Ouroeste-SP

Tratamentos	Ouroeste-SP (variedade CTC 15)			
	400 dias		775 dias	
	cm			
	0-20	20-40	0-20	20-40
SFT	9,2	8,2	7,0	5,0
vs	x	x	x	x
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(10,5) + (6,5) + (21,0)	(11,5) + (8,0) + (18,5)	(12,8) + (20,9) + (7,7)	(10,5) + (8,5) + (9,7)
SFT	9,2	8,2	15,2	5,0
vs	x	x	x	x
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(15,5) + (13,5) + (11,0)	(17,2) + (14,5) + (21,7)	(8,6) + (13,6) + (8,7)	(8,7) + (9,7) + (8,5)
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(10,5) + (6,5) + (21,0)	(11,5) + (8,0) + (18,5)	(12,8) + (20,9) + (7,7)	(10,5) + (8,5) + (9,7)
vs	x	x	x	x
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(15,5) + (13,5) + (11,0)	(17,2) + (14,5) + (21,7)	(8,6) + (13,6) + (8,7)	(8,7) + (9,7) + (8,5)
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(10,5) + (15,5) + (6,5) + (13,5)	(11,5) + (17,2) + (8,0) + (14,5)	(12,8) + (8,6) + (20,9) + (13,6)	(10,5) + (8,7) + (8,5) + (9,7)
vs	x	x	x	x
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(21,0) + (11,0)	(18,5) + (21,7)	(7,7) + (8,7)	(9,7) + (8,5)
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(10,5) + (15,5) + (6,5) + (13,5)	(11,5) + (17,2) + (8,0) + (14,5)	(12,8) + (8,6) + (20,9) + (13,6)	(10,5) + (8,7) + (8,5) + (9,7)
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(14,0) + (7,7)	(28,2) + (9,5)	(22,1) + (7,1)	(5,7) + (8,2)
SFT	9,2	8,2	7,4	5,0
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(14,0) + (7,7)	(28,2) + (9,5)	(22,1) + (7,1)	(5,7) + (8,2)
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(21,0) + (11,0)	(18,5) + (21,7)	(7,7) + (8,7)	(15,8) + (25,1)
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(14,0) + (7,7)	(28,2) + (9,5)	(22,1) + (7,1)	(5,7) + (8,2)
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰ vs FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	(14,0) x (7,7)	(28,2) x (9,5)*	(22,1) x (7,1)	(5,7) x (8,2)

* significativo pelo teste de Scheffé a 0,05 de significância.

Corroborando com esses resultados, Kumar et al. (2016) verificou maiores teores de S no solo e incrementos de TCH e TAH de cana cultivada em um solo argiloso da Índia ao avaliar aplicação de S via superfosfato simples e gesso. Provavelmente o efeito de oxidação do S⁰ no grânulo do fosfato de baixa

reatividade aumentou sua solubilização. Para que a reação de solubilização dos fosfatos naturais ocorra, faz-se necessário a presença de prótons (H⁺) no meio. A reação de oxidação do S⁰ a SO₄²⁻ no solo promove a liberação de prótons (H⁺) e consequente acidificação, ocorrendo da seguinte forma (ALVAREZ-V et al., 2007; CÉSAR, 2012):



Ao observar-se o pH inicial do solo (5,1 a 0-20 cm e 4,9 a 20-40 cm de profundidade) do ensaio de Ouroeste-SP

(Tabela 1), ambos os tratamentos demonstraram efeito de acidificação ao longo do primeiro cultivo (Tabela 7).

Além disso, onde houve maior índice de acidificação a resposta foi mais acentuada. Esse efeito foi observado aos 400 dias após aplicação do FN de baixa reatividade + SFT + S⁰, onde o pH do solo foi mais baixo na camada 0-20 cm (pH 4,65) e 20-40 cm (pH 4,53) quando comparado com o FN de alta reatividade + SFT + S⁰ (camada 0-20 cm: pH 4,83; camada 20-40 cm: pH 4,62).

Talvez o tamanho de partículas do fosfato natural de alta reatividade aliado à população reduzida de

microrganismos no local tenha influenciado nas respostas deste tratamento em função da MO (Tabela 1). Além disso, fosfatos de rocha com baixa reatividade são mais eficientes que fosfatos de rocha reativo em pH mais baixo. Diversos fatores podem influenciar na eficiência dos fosfatos naturais, tais como: material de origem, tamanho das partículas, propriedades do solo, modo de aplicação, preparo do solo e cultura (HOROWITZ e MEURER, 2004; NICCHIO et al., 2019a e 2019b).

Tabela 11. Análise de contrastes dos teores de P nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm para avaliar o efeito da aplicação aos 400 e 775 dias de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre em Uberaba-MG

Tratamentos	Uberaba-MG (variedade RB 92-579)			
	400 dias		775 dias	
	----- cm -----			
	0-20	20-40	0-20	20-40
SFT	15,2	16,1	10,5	23,5
vs	x	x	x	x
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(12,8) + (12,7) + (15,8)	(26,2) + (22,5) + (13,4)	(12,9) + (10,7) + (12,1)	(18,2) + (12,6) + (12,7)*
SFT	15,2	16,1	10,5	23,5
vs	x	x	x	x
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(12,8) + (14,1) + (25,1)	(21,6) + (21,7) + (23,8)	(11,2) + (12,6) + (11,7)	(18,3) + (24,3) + (18,4)
(SFT + S ⁰) + (MAP + S ⁰) + (FNR Bayóvar + S ⁰)	(12,8) + (12,7) + (15,8)	(26,2) + (22,5) + (13,4)	(12,9) + (10,7) + (12,1)	(18,2) + (12,6) + (12,7)
vs	x	x	x	x
(SFT + Gesso) + (MAP + Gesso) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(12,8) + (14,1) + (25,1)	(21,6) + (21,7) + (23,8)*	(11,2) + (12,6) + (11,7)	(18,3) + (24,3) + (18,4)*
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(12,8) + (12,8) + (12,7) + (14,1)	(26,2) + (21,6) + (22,5) + (21,7)	(12,9) + (11,2) + (10,7) + (12,6)	(18,2) + (18,3) + (12,6) + (24,3)
vs	x	x	x	x
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(15,8) + (25,1)*	(13,4) + (23,8)	(12,1) + (11,7)	(12,7) + (18,4)
(SFT + S ⁰) + (SFT + Gesso) + (MAP + S ⁰) + (MAP + Gesso)	(12,8) + (12,8) + (12,7) + (14,1)	(26,2) + (21,6) + (22,5) + (21,7)	(12,9) + (11,2) + (10,7) + (12,6)	(18,2) + (18,3) + (12,6) + (24,3)
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(16,0) + (18,7)	(17,3) + (21,6)*	(14,1) + (14,8)	(22,1) + (27,8)*
SFT	15,2	16,1	10,5	23,5
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(16,0) + (18,7)	(17,3) + (21,6)	(14,1) + (14,8)	(22,1) + (27,8)
(FNR Bayóvar + S ⁰) + (FNR Bayóvar + Gesso)	(15,8) + (25,1)	(13,4) + (23,8)	(12,1) + (11,7)	(12,7) + (18,4)
vs	x	x	x	x
(FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰) + (FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰)	(16,0) + (18,7)	(17,3) + (21,6)	(14,1) + (14,8)	(22,1) + (27,8)
FN Baixa Reatividade + SFT + S ⁰ vs FN Alta Reatividade + SFT + S ⁰	(16,0) x (18,7)	(17,3) x (21,6)	(14,1) x (14,8)	(22,1) x (27,8)

* significativo pelo teste de Scheffé a 0,05 de significância.

Semelhante ao observado no experimento conduzido em Ouroeste-SP, os tratamentos associados com S^0 apresentaram teores de P (20-40 cm) mais baixos que o SFT aos 775 dias após aplicação dos tratamentos em Uberaba-MG (Tabela 11). Os baixos teores de P nestes tratamentos podem ser justificados pelo maior TCH encontrado, resultado do melhor aproveitamento de P proveniente dos fosfatos misturados com S pela cana (Tabela 4).

A adição de S ao solo pode alterar as frações inorgânicas de P através do sulfato, diminuindo o número de sítios disponíveis e a energia de adsorção, ou seja, o sulfato favoreceria a movimentação do fosfato no solo por diminuir-lhe a retenção, conseqüentemente refletindo em maior acúmulo de P e produção de TCH (FRANDOLOSO et al., 2010). Embora a adsorção do fosfato seja pouco afetada pela presença do ânion SO_4^{2-} em condições de igualdade de concentração e pH acima de 6, em condições de pH mais baixo, por exemplo 4, a presença de sulfato na solução pode reduzir em até 30 vezes a adsorção de fosfato em superfícies de minerais com alta capacidade de adsorção como a goetita. Em pontos de alta concentração de S_0 , ambiente de baixo pH pode ser gerado, resultado da produção de ácido sulfúrico em seu processo de oxidação (GEELHOED, HIEMSTRA e RIEMSDIJK, 1997; NASCIMENTO, 2016). Contudo, alguns estudos verificaram que a aplicação de fontes S com P não criaram um ambiente de solo mais ácido (EVANS e PRICE, 2009).

Mas os resultados de S no solo não apresentaram diferenças entre os contrastes avaliados. Diversos fatores podem estar relacionados com eficiência dos tratamentos na disponibilidade de S no solo, como os processos bióticos e abióticos que controlam as transformações de S no solo (STIPP e

CASARIN, 2010). Além do mais, como citado anteriormente, a principal forma de S absorvida pelas plantas (SO_4^{2-}) pode em solos arenosos, ser perdida por percolação, já que sua movimentação nesses solos é maior e por normalmente apresentarem baixo conteúdo de matéria orgânica (STIPP e CASARIN, 2010). Cesár (2016), ao avaliar o efeito da aplicação de P e S, verificou que o SO_4^{2-} tendeu a se acumular no ponto mais distante do ponto de aplicação das fontes devido à competição do SO_4^{2-} pelos sítios de adsorção com o ânion $H_2PO_4^-$. Com a difusão do P dos fertilizantes, a maioria dos sítios disponíveis para a adsorção de ânions foi ocupada pelo $H_2PO_4^-$, que possui maior afinidade para adsorção as partículas do solo do que o SO_4^{2-} , fazendo com que o sulfato migrasse de ponto mais distante da aplicação dos fertilizantes onde havia sítios disponíveis para sua adsorção (ALVAREZ et al., 2007).

Além do mais, foi observado aos 775 dias após aplicação dos tratamentos que o FNR Bayóvar misturados com S^0 e gesso apresentaram maiores teores de P quando comparados com o SFT e MAP misturados com S^0 e gesso, na profundidade 0 a 20 cm. Mas, aos 400 dias após aplicação o SFT e MAP quando comparado com o FN Baixa e Alta Reatividade + SFT + S^0 apresentaram melhores resultados, na profundidade de 20-40 cm (Tabela 11). As respostas dos fertilizantes fosfatados misturados com S^0 neste tipo de solo podem ter ocorrido em função da taxa de oxidação do S^0 a SO_4^{2-} . Ao mesmo tempo, os baixos índices pluviométricos na área pode ter influenciado nos baixos resultados com gesso, já que esta fonte altamente solúvel pode apresentar em condições de baixa umidade menor movimentação no solo.

Ainda no mesmo ensaio, na profundidade 20-40 cm os fosfatos

naturais de alta e baixa reatividade + SFT + S⁰ foram superiores ao SFT e MAP misturados com S⁰ e gesso, resultado inverso do encontrado aos 400 dias após aplicação (Tabela 11) Conforme se esperava, os fosfatos complexos (produzidos com fonte solúvel, insolúvel e enxofre elementar) apresentaram maior eficiência sobre os teores de P no solo aos 775 dias após aplicação no sulco de plantio, indicando sua solubilização no solo.

Alguns autores verificaram resultados satisfatórios da adubação fosfatada em cana planta e seu efeito residual em cana soca. De acordo com Korndörfer e Alcarde (1992), o efeito residual de P no solo oriundo de fertilizantes tende a ser maior em cana-de-açúcar do que em culturas anuais, em função da localização do fertilizante no fundo do sulco de plantio e ausência de movimentação do solo durante quatro anos ou mais. Os fosfatos insolúveis são mais eficientes em longo prazo em razão da disponibilização de P aumentar com o tempo decorrido da sua aplicação ao solo (RAJAN, WATKINSON e SINCLAIR, 1996; HOROWITZ e MEURER, 2004; NICCHIO et al., 2019b).

Além disso, o efeito da solubilização destes fosfatos naturais ocorre devido a reação de hidrólise do fosfato monocalcário proveniente da mistura do fosfato solúvel no grânulo. Essa reação produz prótons (H⁺) e solubiliza o P da rocha de alta e baixa reatividade através de acidez, gerando ácido fosfórico (CÉSAR, 2016). Outro agente importante na solubilização destes fosfatos é o S⁰ que gera acidez (RAJAN, WATKINSON e SINCLAIR, 1996; DEGRYSE et al., 2016; NASCIMENTO, 2016).

Trabalhos científicos nesse sentido já realizados em diversas culturas demonstraram eficiência agrônômica dos fosfatos naturais (alta ou baixa reatividade) associados com

SFT, sendo equivalentes ou mais eficientes que os fosfatos totalmente acidulados (NACHTIGALL et al., 1989; CHIEN, 1996; OLIVEIRA JUNIOR, 2007; CÉSAR, 2016). Além disso, o aumento no rendimento de cana com aplicação S tem sido relatado na literatura (WIEDENFELD, 2011; KUMAR et al., 2016).

Conclusões

A mistura de fertilizantes fosfatados (SFT, MAP e FNR Bayóvar) e enxofre elementar foi eficiente em aumentar a produção de colmos e açúcar e os teores de fósforo no solo.

O fosfato natural de alta e baixa reatividade ambos incorporados com SFT e S⁰ no grânulo foram mais eficientes em aumentar os teores de fósforo no solo que o fosfato natural reativo Bayóvar misturados com enxofre elementar e gesso.

O efeito positivo dos tratamentos com gesso em relação ao enxofre elementar pode estar relacionado à intensidade do estresse hídrico e as condições de cultivo verificado em um dos experimentos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Vale Fertilizantes S/A.

Referências

ALVAREZ, V. H. A.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados das análises de solo.** In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas*

Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. p.143-167.

ALVAREZ-V, V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F.; **Enxofre**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.595-646.

ANDA. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes. Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA**. São Paulo. Disponível em: (<http://www.anda.org.br/>)> Acesso em: 07 ago. 2018.

ARAÚJO, L. G. **Uso do gesso e sua influência na produção de cana-de-açúcar, atributos químicos e estoque de carbono no solo de cerrado**. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BASSACO, M. V. M.; WALCZAK, A. Crescimento inicial do híbrido *Eucalyptus urograndis* sob diferentes doses de fósforo e gesso agrícola no município de Jaguariaíva – PR. **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, Jaguariaíva, v. 2, p. 78-96, 2014.

CÉSAR, F. R. C. F. **Efeito do enxofre elementar na eficiência de fosfatos naturais**. 90p. (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CÉSAR, F. R. C. F. **Eficiência agrônômica de misturas no mesmo grânulo de**

fosfatos acidulados, fosfatos naturais e enxofre elementar. 136p. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G.; BILLINGHAM, K. S. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1173-1177, 1996.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2018, v. 5, safra 2018/2019-** Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2018.

CONSECANA – Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. 5ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006.112p.

CRUZ, C. V.; FERNANDES, D. M.; GROHSKOPF, M. A.; CRUZ, I. V. Corn fertilization with triple superphosphate in a Typic Hapludox soil under the residual effect of alternative phosphorus sources. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 166-173, 2018.

DEGRYSE, F.; SILVA, R. C.; BAIRD, R.; BEYRER, T.; BELOW, F.; MCLAUGHLIN, M. J. Uptake of elemental or sulfate-S from fall or spring-applied co-granulated fertilizer by corn—A stable isotope and modeling study. **Field Crops Research**, v. 221, p. 322-332, 2018.

DEGRYSE, F.; AJIBOYE, B.; BAIRD, R.; da SILVA, R. C. Oxidation of elemental sulfur in granular fertilizers depends on the soil-exposed surface area. **Soil**

Science Society of America Journal, v. 80, p. 294-305, 2019.

DIAS, K. G. L. **Fontes e doses de foto do cafeeiro: produtividade, dinâmica de nutrientes no solo e nutrição mineral de plantas**. 2012, 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

EVANS, J.; PRICE, A. Influence of rates of reactive phosphate rock and Sulphur on potentially available phosphorous in organically managed soils in the south-eastern near-Mediterranean cropping region of Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 84, p. 105-118, 2009.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Relatório Anual da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura – FAO**. 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 05 ago. 2018.

FERRAZ, E. L. S.; BARBOSA, M. A.; FRANCO, F. O.; BATISTA, J. L.; SANTOS, D. M. M. Gessagem em cana-de-açúcar efeitos no solo e produção. **Informativo Técnico do Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 70-79, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. Agrotec**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; BAVARESCO J.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Adsorption and desorption of

phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 62-68, 2016.

FIORINI, I. V. A.; PINHO, R. G. V.; PIRES, L. P. M.; SANTOS, À. O.; FIORINI, F. V. A.; CANCELLIER, L. L.; RESENDE, E. L. Avaliação de fontes de enxofre e das formas de micronutrientes revestindo o NPK na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 1, p. 20-29, 2016.

FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M. C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, F. R. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Rev. Ceres, Viçosa**, v. 57, n. 5, p. 686-694, 2010.

GARCIA, J. C.; MENDES, M. B.; BELUCI, L. R.; AZANIA, C. A. M.; SCARPARI, M. S. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. **Nucleus**, v. 15, n. 1, p. 523-531, 2018.

GEELHOED, J. S.; HIEMSTRA, T.; VAN RIEMSDIJK, W. H. Phosphate and sulfate adsorption on goethite: Single anion and competitive adsorption. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, n. 2, p. 2389-2396, 1997.

GERMIDA, J. J.; JANZEN, H. H. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer Research**, v. 35, p. 101-114, 1993.

HAMID, A. M. A. **Effect of sulfur fertilizer on sugarcane in the heavy clay soils of Sudan**. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Colégio de Doutorado, Universidade de Ciência e Tecnologia do Sudão, Kanana, Sudão, 2014.

- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. **Eficiência agrônômica de fosfatos naturais**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFOS, 2004. p.665-682.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 455-463, 2007.
- KIRIMIZARCHI, M.; AMINUDDIN, H.; KHANIF, M. Y.; RADZIAH, O. Elemental Sulphur application effects on nutrient availability and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. **Malaysian Journal of Science**, v.18, p.75-86, 2014.
- KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 16, n. 2, p. 217-222, 1992.
- KUMAR, V.; CHAND, M.; SINGH, S.; SINGH, R. Effect of Sulphur application on sugarcane production in Haryana. **Indian Journal of Sugarcane Technology**, v. 31, n. 1, p. 1-5, 2016.
- NACHTIGALL, G. R.; BRAUNER, J. L.; ZOLEZZI, M.; TAPIA, F. Mistura de superfosfato triplo com fosfato de Jacupiranga no mesmo grânulo na eficiência do fosfato natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 269-273, 1989.
- NASCIMENTO, C. A. C. **Frações de fósforo no solo e aproveitamento de fosfatos pela cana-de-açúcar**. 77p. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- NICCHIO, B.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; ARRIETA, R. G.; NASCIMENTO, I. R.; SANTOS, G. A. Fuentes alternativas de fósforo em suelos del “cerrado” cultivados com maíz (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.4, n.1, p.1-9. 2019a.
- NICCHIO, B.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; SANTOS, G. A. Eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforo em cultivo de cana planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v.8, n.2, p.39-56, 2019b.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. **Eficiência agrônômica de fosfatos de rocha, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato triplo, para a cultura da soja**. 123p. (Doutorado – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B.; MORGADO, L. B. Efeito de níveis e do resíduo de fósforo sobre a produtividade da cana-de-açúcar em vertissolo. **Pes. Agropec. Bra.**, Brasília, v. 30, v. 1, p. 43-48, 1995.
- RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, v. 57, p. 77-159, 1996.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 5. ed., 2018. 356p.
- SANDIM, A. S. **Solubilidade, efeito residual e eficiência agrônômica de**

- fontes alternativas de fosfatos.** 150p. (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botocatu, 2016.
- SAVINI, I.; KOALA, S.; KIHARA, J. Minjingu phosphate rock availability in low-pH highly weathered soil as affected by added salts. **Scientia Agricola**, v.72, p.440-451, 2015.
- SESSO, F. **Variedades de cana CTC e seu manejo.** XIV Seminário da cana-de-açúcar STAB Centro, Vitória. 2014. Disponível em: <http://www.stab.org.br/xiv_sem_cana_centro_2014/fernando_web.pdf> Acesso em: 07 ago. 2018.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, T. B. A.; SANTANA, M. B.; GALVÃO, E. G. Produção de colmos e acumulação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar em três ciclos de colheita. **Rev. de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 415-423, 2018.
- SOARES, G. F. **Gesso e Fósforo na Sucessão Soja/Milho Safrinha 2016.** 74 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2016.
- SOUSA, R. T. X. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar.** 81p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Instituto de Ciências agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 129, p. 14-20, 2010.
- VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETTO, J. Manejo do Enxofre na agricultura. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 152, p. 1-14, 2015.
- WIEDENFELD, B. Sulfur applications effects on soil properties in a calcareous soil and on sugarcane growth and yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, p. 1003-1013, 2011.
- ZAVASCHI, E. **Avaliação do superfosfato triplo orgânico-complexado.** 74p. Tese (Doutorado) – Escolha Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.