

Efeito da aplicação Foliar de Si, P e K no desenvolvimento, produção e qualidade de soqueira de cana-de-açúcar

Effect of Leaf application of Si, P and K in the development, production and quality of sugarcane ratoon

Bruno Nicchio¹, Gaspar Henrique Korndörfer², Hamilton Seron Pereira², Gustavo Alves Santos³, Marlon Anderson Marcondes Vieira⁴

RESUMO: Apesar da eficiência comprovada de resposta das plantas a adubação com silício (Si), fósforo (P) e potássio (K), a aplicação foliar é ainda uma prática pouco adotada pelos produtores de cana-de-açúcar e, quando utilizada, é com muito empirismo. Por isso, objetivou-se avaliar a produção, qualidade tecnológica e teores de nutrientes em soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de Si, P e K via foliar em duas épocas de aplicação. Foram conduzidos três experimentos apresentando delineamento em blocos casualizados, sendo seis tratamentos (testemunha; referência com Si; Si - 1^a e 2^a época; Si + PK - 1^a e 2^a época; Si + PK - 1^a época; e Si + PK - 2^a época) com quatro repetições. Foram avaliados: altura de plantas, diâmetro de colmos, tonelada de colmos (TCH) e açúcar (TAH) por hectare, açúcar teórico recuperado (ATR), brix, pol da cana e teor foliar de macro, micronutrientes e Si. A aplicação de Si - 1^a e 2^a época foi mais eficiente em aumentar os teores foliares de silício. A aplicação de Si + PK - 1^a época foi mais eficiente em aumentar os teores foliares de nitrogênio, zinco e boro. A aplicação de Si + PK - 2^a época foi mais eficiente em aumentar a produtividade de cana e açúcar de sexto corte.

Palavras-chave: Adubação suplementar. Produtividade. *Saccharum* spp.

ABSTRACT: In spite of the efficiency of plants' response to fertilization with silicon (Si), phosphorus (P) and potassium (K), leaf application is only scantily practiced by sugarcane producers, and, when done, with a great deal of experimentation. Current assay evaluates production, technological quality and nutrition rates of the sugarcane ratoon subjected to the application of Si, P and K by leaf, at two periods. The three assays featured randomized blocks, with six treatments (blank; reference with Si; Si - 1st and 2nd period; Si + PK - 1st and 2nd period; Si + PK - 1st period; and, Si + PK - 2nd period) with four replications. Height of plant, diameter of stalks (TCH), and sugar (TAH) per hectare, theoretically recovered sugar (ATR), brix, sugarcane pol and leave rate of macro- and micro-nutrients, and Si. Application of Si - 1st and 2nd period was more efficient in increasing the leaf rates of silicon. Application of Si + PK - 1st period was more efficient in increasing the leave rate of nitrogen, zinc and boron. Application of Si + PK - 2nd period was more efficient in increasing productivity of cane and sugar at the sixth cut.

Keywords: Productivity. *Saccharum* spp. Supplementary fertilization.

Autor correspondente:

Bruno Nicchio: bruno_nicchio@hotmail.com

Recebido em: 13/12/2019

Aceito em: 20/03/2020

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais contribuintes para a produção mundial de açúcar colaborando com cerca de 70% da produção global (RAGHURAJ *et al.*, 2015; SINGH *et al.*, 2015a). Ao mesmo tempo, é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao potencial na produção de etanol e seus respectivos subprodutos, como geração de energia elétrica (CONAB, 2019). O Brasil é o maior produtor mundial, o que significa que a cultura tem grande importância para o agronegócio, com uma área de colheita atual estimada em 8.382,2 milhões de hectares (safra 2018/2019) e produção de 615,9 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

¹ Pós-doutorando (PNPD) em Agronomia pelo Programa de Pós-Graduação (PPGA) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia (MG), Brasil.

² Professor Aposentado do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia (MG), Brasil.

³ Professor Titular do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia (MG), Brasil.

⁴ Pesquisador KP Consultoria, Uberlândia (MG), Brasil.

⁵ Mestrando em Agronomia pelo Programa de Pós-Graduação (PPGA) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia (MG), Brasil.

Apesar de ser maior produtor, o Brasil apresenta baixa produtividade média (73,48 t ha⁻¹) quando comparado com países como Etiópia (108 t ha⁻¹), Quênia (105 t ha⁻¹), Suíça (98 t ha⁻¹) e Estados Unidos (84,5 t ha⁻¹), à frente apenas da Índia (71,41 t ha⁻¹) que é o segundo maior produtor e Paquistão com produtividade média de 55,6 t ha⁻¹ (SING *et al.*, 2015; MAZHAR, 2015; CONAB, 2019; USDA, 2019). Um dos fatores que afetam os índices de produção de cana-de-açúcar e manutenção das socas é o manejo nutricional. Por isso, é imprescindível a adoção de práticas agrônômicas adequadas (SING *et al.*, 2015; ISMAIL *et al.*, 2016), já que o aumento de produtividade está ligado ao uso de fertilizantes minerais (FIORINI *et al.*, 2016; NICCHIO *et al.*, 2019).

Os nutrientes são aplicados como base na adubação via solo, mas pode ser realizada a complementação da nutrição via aplicações foliares. Essa forma de aplicação de nutrientes às plantas não é uma prática nova, ainda que só recentemente vem sendo estudada mais a fundo, comparado a outros métodos de adubação (REZENDE *et al.*, 2005). A absorção via radicular é melhorada devido à utilização da adubação foliar. Entretanto, apesar de todos os conhecimentos e de algumas vantagens, o uso de nutrientes em pulverização foliar apresentam restrições. Segundo Rosolém (1984) a utilização de sais solúveis somente deve ser feita em baixa concentração, sendo necessárias várias aplicações para atingir a adequada quantidade de nutrientes nas plantas, capaz de afetar a produtividade.

A maneira que as soluções nutritivas penetram nas folhas pode ser controlada por alguns fatores tais como condições ambientais (FERNANDEZ *et al.*, 2013; LIRA, 2018). Além do mais, a pluralidade dos solos do Cerrado, com locais que apresentam deficiências em nutrientes, mostra a necessidade de aplicações nos canais para se alcançar maiores resultados, o que pode demonstrar uma prática economicamente viável com aumento na melhoria da qualidade fotossintética foliar, produtividade de colmos, açúcar e qualidade tecnológica (ORLANDO FILHO *et al.*, 2001; MARZHA, 2015; SINGH *et al.*, 2015b; CAMARGO, 2016; LIRA, 2018).

O Si é um elemento benéfico que apresenta boas respostas em gramíneas como a cana-de-açúcar, os quais incluem melhoria na arquitetura da planta, aumentar a fotossíntese e o crescimento das plantas, aliviar os estresses de toxicidade da água e dos minerais, melhorar a resposta da defesa das plantas contra doenças e ataques de insetos, alívios de danos causados por geada, além de maior eficiência do uso de fertilizante e absorção de macro e micronutrientes (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995; SAVANT *et al.*, 1999; LIANG *et al.*, 2015; RODRIGUES; DATNOFF, 2015; AGOSTINHO, 2016; TUBANA *et al.*, 2016; MESQUITA *et al.*, 2019).

O P é um elemento essencial que exerce função chave no metabolismo da cana, sendo importante em uma série de processos fisiológicos, principalmente no desdobramento de açúcar e formação de sacarose (matéria-prima para a produção de açúcar e álcool). O melhor enraizamento, perfilhamento e absorção de outros nutrientes são favorecidos pelo provimento desse nutriente em quantidade e forma correta (NICCHIO *et al.*, 2019). O K é o elemento essencial absorvido em maior quantidade pela cana, sendo considerado um dos principais ativadores enzimáticos nos processos de fotossíntese, assimilação de carbono, síntese de clorofila, translocação de sacarose, turgescência celular (RODRIGUES, 2019). Ambos os elementos (P e K) podem proporcionar maior resistência das plantas ao ataque de doenças, estresse hídrico e condições ambientais adversas.

Apesar dessas informações, a identificação e implementação de estratégias para o manejo desses elementos em programas de fertilização pode desempenhar um papel importante na produção agrícola (MEENA *et al.*, 2014; SANTOS, 2017). Portanto, pressupõe-se que a aplicação de Si, P e K via foliar poderá proporcionar maior rendimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar. Desse modo, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da aplicação foliar de Si, P e K na produção, qualidade tecnológica e teores de nutrientes em soqueira de cana-de-açúcar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos pela equipe do Grupo de pesquisa Silício na Agricultura (GPSi) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em duas áreas de unidades produtoras de cana-de-açúcar: Bioenergética Aroeira (Tupaciguara (MG)) - cana de 4º corte, variedade RB 92-579 (Faz. Retiro) e em outra área comercial com cana

de 6º corte, variedade SP 81-3250 (Faz. Capão); e na Companhia Mineira de Açúcar e Álcool (Uberaba (MG)) - cana de 3º corte, variedade RB 92-579 (Faz. Mirassol).

Os experimentos foram instalados em delineamento experimental de blocos casualizados, sendo seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por diferentes fontes de Si e épocas de aplicação, a testemunha e a referência com silicato de potássio (K_2SiO_3) (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos foliares de Si e PK em diferentes épocas e doses de aplicação

Tratamentos	Fertilizantes Foliares	Época de Aplicação	Dose
1 - Testemunha	Água	1ª época	---
2 - Referência	K_2SiO_3	1ª época	2,5 L ha ⁻¹
3	Si	1ª e 2ª época	2,0 L ha ⁻¹
4	Si + PK	1ª e 2ª época	2,0 L ha ⁻¹ + 1,0 L ha ⁻¹
5	Si + PK	1ª época	2,0 L ha ⁻¹ + 1,0 L ha ⁻¹
6	Si + PK	2ª época	2,0 L ha ⁻¹ + 1,0 L ha ⁻¹

As épocas de aplicação dos fertilizantes foliares nas três localidades ocorreram aos: 120 (1ª época) e 150 (2ª época) dias após o corte (DAC) da cana na Faz. Retiro e aos 160 (1ª época) e 190 (2ª época) DAC na Faz. Capão, ambos na Bioenergética Aroeira (Dez/2015); e; aos 180 (1ª época) e 210 (2ª época) DAC na Faz. Mirassol, na Companhia Mineira de Açúcar e Álcool (Mar/2016).

Os fertilizantes foliares utilizados apresentam as seguintes características: Silicato de Potássio (K_2SiO_3): 12,2% (p/p) de silício e 15% (p/p) de óxido de potássio. Densidade de 1,4 g dm⁻³; pH: 12; Si: fertilizante orgânico líquido com 4% (p/p) de aminoácidos totais, 8% (p/p) de silício (SiO_2), 15% (p/p) de matéria orgânica total, 1,1% (p/p) de nitrogênio (N) e 0,1% (p/p) de fósforo (P_2O_5); PK: fertilizante líquido com 4% (p/p) de aminoácidos totais, 30% (p/p) de fósforo P_2O_5 , 20% (p/p) de potássio (K_2O). Densidade 1,42 g mL⁻¹; pH: 5,0.

As parcelas experimentais, em ambos os experimentos, consistiram de quatro linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 m (60 m²). Além disso, foi adotado um espaçamento de 3,0 m entre as parcelas de modo a evitar prováveis problemas com a deriva da aplicação dos produtos. A aplicação dos produtos foi realizada com o uso de uma barra de 3 m com 3 bicos 110-02 tipo leque espaçados por 0,75 cm acoplada a um pulverizador costal pressurizado a CO_2 . A pressão de aplicação adotada no equipamento foi a de 4 kgf cm⁻² e o volume de calda utilizado foi de 2,0 L parcela⁻¹, o equivalente a 333,3 L ha⁻¹. As aplicações foram realizadas no período da manhã tomando-se os devidos cuidados relacionados ao teor de umidade relativa do ar, temperatura e vento.

Foram coletadas amostras foliares em cada parcela respectiva aos tratamentos que receberam duas aplicações (1ª e 2ª época). A amostragem foi realizada aos 30 dias após a segunda aplicação. Cada amostra foi composta pelo terço médio de 10 folhas TVD (*Top Visible Dewlap*) conhecida como primeira folha da bainha da planta. Essas amostras foram lavadas em solução contendo água e detergente neutro. Posteriormente foram enxaguadas em água corrente e depois em água destilada e retirou-se a nervura central de cada folha. As amostras foram acondicionadas em estufa de circulação de ar, a 65 °C, até atingirem o peso constante. Após, o material foi triturado em moinho tipo Willey, para ser submetido à análise laboratorial de macro e micronutrientes conforme metodologia descrita por Embrapa (2009) e Si conforme metodologia descrita por Korndörfer *et al.* (2004). Na mesma época de amostragem em outras 10 plantas por parcela, avaliou-se o índice SPAD (A, B e Total) das folhas TVD com auxílio do medidor eletrônico de teor de clorofila clorofiLOG digital Falker[®] CFL1030.

A colheita deu-se entre aos 130 e 160 dias após aplicação dos fertilizantes foliares para os experimentos localizados na Bioenergética Aroeira e Companhia Mineira de Açúcar e Álcool. Na época de colheita, a cana da área útil

de cada parcela (4 m das duas linhas centrais) foi cortada crua e manualmente, despontada e em seguida pesada com uma balança acoplada a um tripé (capacidade para 2 t). Determinou-se o peso (kg) de cada parcela e os valores foram extrapolados para t ha⁻¹. No momento da colheita foi realizada a medição da altura das plantas com trena, considerando o intervalo entre o nível do solo e a 1ª folha (cartucho). Já a medida de diâmetro de colmo foi tomada com a utilização de paquímetro no final do terço inferior, início do terço médio da planta. As medições de altura e diâmetro foram feitas em três plantas escolhidas aleatoriamente de cada parcela segundo.

Para análise tecnológica, realizou-se coleta de 10 colmos aleatoriamente amostrados em cada parcela. O material coletado foi submetido à análise tecnológica no laboratório das respectivas unidades produtoras de cana-de-açúcar, segundo metodologia descrita por Tanimoto (1964), a qual gerou resultados de Açúcar Teórico Recuperado (ATR) (kg TC⁻¹), Brix (%) e Pol da cana (%). Utilizando-se os resultados de toneladas de colmos por hectare (TCH) e os valores de Pol da cana (%), foram calculados os valores de tonelada de açúcar por hectare (TAH) de cada um dos tratamentos.

Com o auxílio do programa estatístico Sisvar versão 5.3 (FERREIRA, 2014), os resultados foram submetidos à análise de variância, e, em caso de significância do teste F, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey a 0,1 de significância. Além disso, cada tratamento foi individualmente comparado com o tratamento testemunha e tratamento controle pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância, o qual foi aplicado utilizando-se o programa ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

328 3.1 RESULTADOS DE PRODUÇÃO (ALTURA, DIÂMETRO, TCH E TAH)

Para altura de planta (m), diâmetro de colmos (mm), toneladas de colmos por hectare (TCH), toneladas de açúcar por hectare (TAH) e teor de silício (Si) foliar, todos os experimentos foram apresentados (Tabelas 2 e 7), independentemente do resultado estatístico. Para as demais variáveis (Tabelas 3, 5 e 6) os autores apresentaram apenas os resultados com diferenças relevantes. Os dados mostram que não houve diferença significativa para altura de plantas, diâmetro de colmos, TCH e TAH entre os tratamentos nos experimentos conduzidos nas fazendas Retiro e Mirassol.

Diferente do observado neste estudo, Miranda e colaboradores (2018), ao avaliarem a adubação foliar e via solo de Si em milho, verificaram que o tratamento com K₂SiO₃ influenciou no aumento de diâmetro e altura de plantas. Segundo Ma e Yamaji (2008), o Si tem demonstrado efeito benéfico no crescimento e desenvolvimento das plantas, mas isso depende de fatores como dose, época e local de aplicação.

Na Faz. Capão (SP 81-3250) foi verificado que o tratamento foliar com silício (Si) + fósforo (P) e potássio (K) na 2ª época de aplicação foi o mais eficiente em aumentar a tonelada de colmos (TCH) e açúcar (TAH) por hectare em comparação com o tratamento testemunha pelo teste de Tukey, com incrementos de 36,23 t ha⁻¹ de TCH e 5,35 t ha⁻¹ de TAH. Apesar de não ter sido realizada avaliação de incidência ou severidade de doenças neste estudo, foi observada pela equipe da usina Bioenergética Aroeira que nesta área experimental houve incidência de ferrugem alaranjada (*Pucciniakuehnii*), doença esta que possui potencial para reduzir a capacidade fotossintética da planta e, em consequência, a produção de sacarose (FERRARI *et al.*, 2010).

Tabela 2. Altura de plantas (m), diâmetro de colmos (mm), tonelada de colmos por hectare (TCH) e total de açúcar por hectare (TAH) em função da aplicação em diferentes épocas e doses de aplicação de Si e PK fertilizantes via foliar em cana soca (Variedades RB 92-579 e SP 81-3250)

Tratamento	Altura		Diâmetro		TCH		TAH	
	--- m ---		-- mm --		----- t ha ⁻¹ -----			
Faz. Retiro - RB 92-579								
Si - 1ª e 2ª época	1,7	a	27,0	a	43,33	a	7,30	a
Si + PK - 1ª e 2ª época	1,8	a	26,4	a	50,00	a	8,36	a
Si + PK - 1ª época	1,5	a	26,7	a	49,58	a	8,44	a
Si + PK - 2ª época	1,6	a	26,8	a	48,33	a	7,63	a
Referência (K ₂ SiO ₃) - 1ª época	1,5	a	25,7	a	45,83	a	7,58	a
Testemunha	1,7	a	28,0	a	47,91	a	7,75	a
Médias	1,6		26,8		47,50		7,84	
C.V. (%)	10,32		8,41		23,21		23,97	
Faz. Capão - SP 81-3250								
Si - 1ª e 2ª época	1,7	a	20,5	a	56,25	ab	8,76	ab
Si + PK - 1ª e 2ª época	1,9	a	23,1	a	62,08	ab	10,00	ab
Si + PK - 1ª época	1,6	a	21,1	a	57,10	ab	8,92	ab
Si + PK - 2ª época	1,8	a	23,9	a	81,25	a	12,39	a
Referência (K ₂ SiO ₃) - 1ª época	1,7	a	22,0	a	60,83	ab	9,56	ab
Testemunha	1,8	a	22,2	a	45,02	b	7,04	b
Médias	1,7		22,1		60,41		9,44	
C.V. (%)	9,73		6,34		31,86		31,31	
Faz. Mirassol - RB 92-579								
Si - 1ª e 2ª época	2,2	a	25,2	a	84,58	a	14,04	a
Si + PK - 1ª e 2ª época	1,9	a	25,6	a	66,87	a	10,37	a
Si + PK - 1ª época	2,0	a	24,0	a	75,08	a	11,63	a
Si + PK - 2ª época	2,0	a	24,3	a	68,75	a	11,05	a
Referência (K ₂ SiO ₃) - 1ª época	2,0	a	23,0	a	68,96	a	11,04	a
Testemunha	2,0	a	25,1	A	77,08	a	12,10	a
Médias	2,0		24,5		73,54		11,70	
C.V. (%)	9,35		11,68		21,45		21,85	

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, em cada local, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,10 de significância. *Média com diferença significativa em relação à testemunha e †Média com diferença significativa em relação à referência (K₂SiO₃) pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

A falta de investimento e inovações com relação aos canaviais tem favorecido o aumento de susceptibilidade da cana a doenças, como a ferrugem alaranjada. A variedade SP 81-3250 (utilizada na Faz. Capão) que antes era considerada resistente à ferrugem alaranjada foi infectada pelo fungo em canaviais na região de Minas Gerais, o que reduziu quase pela totalidade seu cultivo (MOREIRA, 2013). Isso ocorreu em função das características do *P. Kuehnii* que possui a capacidade de adaptação ao ambiente de produção, podendo adaptar-se a resistência do material cultivado, atingindo variedades antes resistentes, em razão do surgimento de novas raças (SOUZA *et al.*, 2018).

A doença pode causar redução na produção agrícola na ordem de 20 a 40% na TCH (Toneladas de colmos/hectare) e de 15 a 20% no teor de sacarose nos colmos, assim como observado no tratamento testemunha (45,02 t ha⁻¹ de TCH) do experimento conduzido na Faz. Capão (Tabela 2). Isso acontece porque a partir do momento em que as pústulas se desenvolvem nas folhas, ocorre a redução da área fotossintética e consequentemente a planta não consegue expressar o seu potencial produtivo (CRUZ *et al.*, 2014). A ferrugem alaranjada apresenta sintomas predominantemente em canas semi-maduras a maduras, com desenvolvimento do seu ciclo favorecido por verões e outonos úmidos e temperaturas amenas, prevalentes entre os meses de janeiro a abril (SOUZA *et al.*, 2018). O tratamento que apresentou melhor resultado com relação à TCH e TAH foi o da 2ª aplicação (janeiro de 2016), época de maior desenvolvimento da doença. Isso pode justificar os efeitos do Si nas plantas, pois eles são geralmente mais evidentes quando as plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de natureza química, física ou biológica (MORO, 2012; CAMARGO, 2016).

O Si pode atuar na planta promovendo resistência aos patógenos através de barreira química e/ou física. A barreira química pode estar ligada por meio da resposta da planta ao ataque do parasita, aumentando a síntese de toxinas (fitoalexinas) e compostos fenólicos que podem agir como substâncias inibidoras ou repelentes (isoflavonóides). A barreira física pode estar ligada ao Si depositado no tecido epidérmico (silificação), que pode impedir mecanicamente a invasão de hifas de fungos e bloqueando o avanço do patógeno (TAKAHASHI, 1996). Logo, o Si absorvido pelas plantas proporciona muitos benefícios, pois sua deposição nas folhas promove melhoria de seu posicionamento para maior interceptação da luz solar, aumentando a capacidade fotossintética e a produtividade das culturas (CAMARGO, 2016).

Diversos estudos relataram que o suprimento de Si via solo, foliar ou solução nutritiva, tem contribuído de forma significativa na redução da intensidade de inúmeras doenças de importância econômica em culturas como cana, arroz, trigo, soja, cevada, batata, café, pepino, tomate, uva e entre outras (RODRIGUES; DATNOFF, 2015). Por outro lado, não há relatos na literatura sobre sua eficácia na mitigação da deficiência nutricional em nível de produção, nem se há diferenças entre fornecê-lo via solução nutritiva (radicular) ou via aplicação foliar, sendo necessária experimentação nesta área (FELISBERTO, 2018).

Apesar dos resultados observados na Tabela 2, verificou-se que os experimentos na Faz. Capão e Retiro demonstraram baixas médias de produtividades, 62,91 (6º corte) e 47,50 (4º corte) t ha⁻¹ de TCH, respectivamente. Durante a condução do experimento na fazenda Retiro também foi verificada pela equipe de pesquisa da usina Bioenergética Aroeira incidência de podridão-vermelha (*Colletotrichum falcatum*), o que pode ter sido a causa da baixa produção. Esse patógeno pode causar diminuição do rendimento no processamento da cana, sobretudo pela inversão de sacarose com perdas de 50% a 70%. Essa doença ocorre em épocas quentes e chuvosas, podendo incidir de maneira drástica nas folhas, toletes e principalmente em colmos, prejudicando a produção e a qualidade do produto para a comercialização e a industrialização (RAGO; TOKESHI, 2005).

Ainda assim, esperava-se maior resposta por boa parte dos tratamentos por apresentarem Si em sua composição, nutriente importante na resistência ao ataque de pragas e doenças (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995). Neste experimento, a falta de resposta pode ser explicada pela aplicação tardia na área já infestada com podridão-vermelha como observado no tratamento de 2ª época (redução numérica de produção em relação ao tratamento de 1ª época, sem diferença significativa) e pela baixa concentração de Si aplicada nos tratamentos (Tabela 1).

Por outro lado, a falta de resultados para os tratamentos aplicados na Faz. Mirassol (TCH média de 73,54 t ha⁻¹) pode ser explicada pelo histórico de bom manejo nutricional e fisiológico da área já que a atuação de Si nas plantas é mais evidente quando elas são submetidas a algum tipo de estresse (MORO, 2012; CAMARGO, 2016).

3.2 RESULTADOS DE QUALIDADE DE CANA (BRIX, POL E ATR)

Não houve diferenças significativas para os quesitos Brix, Pol da cana e produção de açúcar por tonelada de colmos (ATR) nos experimentos conduzidos na Faz. Retiro e Capão e por isso os resultados não foram apresentados.

Mas de acordo com a Tabela 3, na Faz. Mirassol, o tratamento foliar com Si - 1ª e 2ª época foi mais eficiente que o tratamento Si + PK - 1ª e 2ª época, pelo teste Tukey, em aumentar o Brix da cana (variedade RB 92-579). Os valores de Brix variaram de 21 a 22,5%, considerado acima do valor ideal citado por Marques *et al.* (2001).

A média de Pol% entre os experimentos variou de 15,51 a 15,67%, que de acordo com Almeida *et al.* (2005) é acima do valor mínimo de 13% exigido pela indústria. Sob uma perspectiva econômica e dentro da prática agrônômica, a cana é considerada madura, ou em condição de ser industrializada; quando apresentar teor mínimo de sacarose (Pol% da cana) acima de 12,275% do peso do colmo, que representa a porcentagem aparente de sacarose contida em uma solução de açúcares (FERNANDES, 2000).

Tabela 3. Brix (%), pol da cana (%) e ATR (kg açúcar TC⁻¹) em função da aplicação em diferentes épocas e doses de aplicação de Si e PK fertilizantes via foliar em cana soca (Variedade RB 92-579)

Tratamento	Brix		Pol da Cana		ATR	
	----- % -----				kg açúcar TC ⁻¹	
Faz. Mirassol - RB 92-579						
Si - 1ª e 2ª época	21,8	a	16,60	a	163,78	a
Si + PK - 1ª e 2ª época	20,5	b	15,55	a	153,68	a
Si + PK - 1ª época	20,7	ab	15,58	a	154,20	a
Si + PK - 2ª época	21,0	ab	16,01	a	157,93	a
Referência (K ₂ SiO ₃) - 1ª época	21,1	ab	16,01	a	158,11	a
Testemunha	21,1	ab	15,64	a	155,25	a
Médias	21,0		15,89		157,13	
C.V. (%)	2,52		4,24		3,88	

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,10 de significância. *Média com diferença significativa em relação à testemunha e +Média com diferença significativa em relação à referência (K₂SiO₃) pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Apesar de não serem observadas diferenças significativas para ATR, a produção média variou entre 154,19 e 162,23 kg açúcar TC⁻¹, o que é considerado acima do valor ideal, conforme citado por Marques *et al.* (2001). Esses resultados corroboram os de Mellis *et al.* (2016), que não encontraram respostas para ATR em 11 experimentos que receberam aplicação de nutrientes via foliar. Ismail e colaboradores (2016) em trabalho realizado no Paquistão observaram que a aplicação foliar de macro e micronutrientes em duas épocas (90 e 120 dias após brotamento) também não influenciou no teor de pureza e ATR de cana-de-açúcar. Mas, Karthikeyan e Shanmugam (2017) obtiveram incremento significativo na qualidade de cana-de-açúcar (ATR, Brix e pureza) com aplicação foliar de macronutriente e algas marinhas. Nikpay e colaboradores (2017), ao avaliarem a aplicação de Si em cinco variedades de cana sob ataque de brocas, no Irã, observaram melhoria da qualidade tecnológica com uso de Si via foliar ao comparar com tratamento padrão em plantas atacadas por broca. Diversos fatores podem influenciar a resposta da cana-de-açúcar à adubação foliar, tais como clima, variedades e manejo do solo que exercem influência sobre as características tecnológicas da cana (PEREIRA *et al.*, 1995; NICCHIO *et al.*, 2019).

A análise de clorofila não resultou diferenças para os índices A, B e total nos experimentos avaliados (não sendo apresentados os resultados). Por outro lado, Sousa Júnior *et al.* (2017) observaram que aplicação de Si aumentou os teores de clorofila A e B de duas variedades de cana-de-açúcar (CTC9002 e CTC9003), possivelmente em função da melhoria da área foliar observada no experimento. Entretanto, esse resultado só foi observado porque as plantas encontravam-se em situação de estresse (toxidez de Al), onde os efeitos do Si nas plantas podem ser mais evidentes (MORO, 2012; CAMARGO, 2016). Hattori *et al.* (2005) encontraram melhor resposta fotossintética em plantas de

sorgo adubadas com Si sob estresse hídrico diferente dos resultados deste estudo onde o suprimento hídrico foi adequado, o que pode ter colaborado com baixa absorção foliar dos nutrientes.

3.3 RESULTADOS NUTRICIONAIS (MACRO E MICRO)

Na Tabela 4 são apresentadas as faixas de suficiência de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) para a cana-de-açúcar da folha TVD.

Tabela 4. Faixas de teores adequados (faixa de suficiência) de macro e micronutrientes para a soqueira de cana-de-açúcar

N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----					
12,5 - 16,5	1,8 - 2,8	7,5 - 14,5	2,6 - 4,8	2,0 - 4,3	1,5 - 2,3
Fe	Mn	Zn	Cu	B	
----- mg kg ⁻¹ -----					
80 - 150	50 - 87	13 - 28	3,8 - 6,6	4 - 30	

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2013).

Comparando os resultados obtidos na Tabela 4 com os resultados apresentados na Tabela 5, verifica-se que o N apresentou-se em níveis acima do adequado nos experimentos. Para K e S, os teores apresentaram-se nos níveis adequados, mas para P (Faz. Mirassol), os teores estiveram abaixo do nível adequado.

332

Tabela 5. Teor foliar de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e magnésio (Mg) 30 dias após aplicação de fertilizantes via foliar em cana soca (Variedades RB 92-579 e SP 81-3250)

Tratamento	N		P		K		S		Mg		
	----- g kg ⁻¹ -----										
Faz. Capão - SP 81-3250											
Si - 1ª e 2ª época	21,52	a	1,84	a	12,2	ab	2,15	a	1,85	a	
Si + PK - 1ª e 2ª época	20,82	a	1,89	a	12,2	ab	1,98	a	1,95	a	
Si + PK - 1ª época	21,88	a	2,07	a	11,0	b	2,10	a	1,72	a	
Si + PK - 2ª época	21,00	a	1,84	a	12,7	ab	1,97	a	1,85	a	
Referência (K ₂ SiO ₃) - 1ª época	22,22	a	1,84	a	13,5	a	2,35	a	2,00	a	
Testemunha	22,52	a	1,82	a	12,7	ab	2,17	a	1,82	a	
Médias	21,70		1,88		12,4		2,12		1,86		
C.V. (%)	8,36		6,47		8,27		14,24		8,73		
Faz. Mirassol - RB 92-579											
Si - 1ª e 2ª época	18,37	ab	1,38	a	10,7	a	1,42	ab	1,32	ab	
Si + PK - 1ª e 2ª época	16,10	b	1,35	a	9,8	a	1,20	b*	1,20	b	
Si + PK - 1ª época	21,52	a	1,39	a	10,5	a	1,30	ab	1,20	ab	
Si + PK - 2ª época	21,00	ab	1,46	a	10,6	a	1,42	ab	1,40	a	
Referência (K ₂ SiO ₃) - 1ª época	19,60	ab	1,49	a	9,6	a	1,40	ab	1,37	ab	
Testemunha	20,47	ab	1,46	a	10,3	a	1,62	a	1,27	ab	
Médias	19,51		1,42		10,2		1,39		1,31		
C.V. (%)	13,11		8,49		7,08		14,50		7,34		

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, em cada local, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,10 de significância. *Média com diferença significativa em relação à testemunha e + Média com diferença significativa em relação à referência (K₂SiO₃) pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Com relação ao Mg, os teores encontraram-se abaixo do nível adequado (Tabela 5) nos experimentos, exceto para o tratamento referência (K_2SiO_3 - 1ª época) aplicado na Faz. Capão (2,0 g kg^{-1} de Mg). Nesse tratamento, o teor de K (13,5 g kg^{-1} de K) foi significativamente maior que os demais, o que era esperado, uma vez que essa fonte de Si tem K solúvel (12,2% K_2O) em sua composição (Tabela 6).

Na Faz. Mirassol, o tratamento Si + PK - 1ª época apresentou teor de N (21,52 g kg^{-1} de N) maior que o tratamento Si + PK - 1ª e 2ª época (16,1 g kg^{-1} de N). Por outro lado, o tratamento Si + PK - 2ª época apresentou maior teor de Mg, pelo teste de Tukey, e o tratamento testemunha maior teor de S foliar (Tabela 5), pelo teste de Dunnett. Esses resultados se assemelham aos de Silva *et al.* (2017), que encontraram incrementos nos valores de N foliar de cana-de-açúcar (variedade RB 96-7515) quando aplicou-se via foliar microrganismos fixadores de N com Mg em sua composição aos 60 dias após o brotamento. Lira (2018) verificou aumento nos teores de N foliar em cana-de-açúcar com adubação foliar na dose de 20 L ha^{-1} .

Com relação aos teores de micronutrientes, ao comparar os resultados obtidos (Tabela 6) com os resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que o Cu, Zn e B apresentaram-se em níveis acima do adequado para a maioria dos tratamentos. Para Fe, maior parte dos tratamentos na Faz. Retiro (entre 73 a 97 mg kg^{-1}) esteve abaixo dos níveis adequados, mas para Faz. Capão (entre 91 a 120 mg kg^{-1}) e Mirassol (entre 70 a 98 mg kg^{-1}), os teores estiveram no nível adequado. Por outro lado, os níveis de Mn estiveram abaixo do adequado de acordo com a Tabela 5. Madeiros *et al.* (2009) observaram variações nos teores de micronutrientes em folhas de cana-de-açúcar (variedades RB72454 e SP7 91011) que receberam aplicação de Si. Os autores verificaram redução dos teores de Fe foliar em função do aumento dos teores de Si.

Com relação aos teores de Cu, Fe, Mn, Zn e B foram apresentados somente os resultados com diferenças significativas, conforme descrito na Tabela 6. Na Faz. Mirassol, o tratamento Si + PK - 1ª época apresentou maiores teores de Zn (17,91 mg kg^{-1} de Zn) e B (7,06 mg kg^{-1} de B).

Tabela 6. Teor foliar de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B) dias após aplicação de fertilizantes via foliar em cana soca (Variedades RB 92-579)

Tratamento	Faz. Mirassol - RB 92-579									
	Cu		Fe		Mn		Zn		B	
	----- mg kg^{-1} -----									
Si - 1ª e 2ª época	7,56	a	97,76	a	27,00	a	17,45	ab	6,66	ab**
Si + PK - 1ª e 2ª época	6,63	a	98,39	a	28,22	a	16,35	ab	6,82	a**
Si + PK - 1ª época	6,67	a	94,54	a	26,93	a	17,91	a*	7,06	a**
Si + PK - 2ª época	6,79	a	70,46	b	25,76	a	15,69	ab	4,73	bc
Referência (K_2SiO_3) - 1ª época	6,97	a	75,48	ab	27,41	a	16,08	ab	4,39	c
Testemunha	6,13	a	81,15	ab	23,42	a	15,29	B	4,54	c
Médias	6,79		86,29		26,45		16,46		5,70	
C.V. (%)	27,23		13,43		13,06		7,40		17,95	

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,10 de significância. *Média com diferença significativa em relação à testemunha e **Média com diferença significativa em relação à referência (K_2SiO_3) pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Mellis *et al.* (2016) encontraram respostas positivas para os teores foliares de Zn, Mn, Cu, B, e Mo em função da fertilização de micronutrientes em cana-de-açúcar. Porém, as respostas nos 11 experimentos realizados apresentaram variação de acordo com a localização, clima, tipo de solo e variedade. Lira (2018) ao avaliar adubação de plantio e foliar com micronutrientes em cana-de-açúcar (variedade RB 96-5902) observou que a concentração de macro e micronutrientes não foi afetada pela aplicação dos tratamentos, exceto o N, onde houve um incremento com aplicação de micronutrientes (S, B, Cu, Mn, Mo e Zn).

Os teores de silício (Si) foliar em todos os experimentos avaliados apresentaram-se abaixo do nível crítico (10 g kg⁻¹ Si), segundo Anderson e Bowen (1992), o que indica que possivelmente as doses de Si não foram suficientes para elevar seus teores nas folhas de cana-de-açúcar aliado ao período chuvoso durante avaliação experimental (Tabela 7).

Tabela 7. Teor foliar de silício (Si) 30 dias após aplicação de fertilizantes via foliar na cana soca (Variedades RB 92-579 e SP 81-3250)

Tratamento	F. Capão						F. Retiro						F. Mirassol											
	----- g kg ⁻¹ -----																							
Si - 1ª e 2ª época	4,32	ab	5,38	a	2,32	a	3,42	ab	4,75	ab	1,87	ab	4,40	a	3,77	bc	1,77	ab	2,95	b	3,42	c	1,15	b
Si + PK - 1ª e 2ª época	3,90	ab	4,17	abc	1,40	ab	Médias	3,80	4,30	1,70	C.V. (%)	19,35	14,66	4,36										

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,10 de significância. *Média com diferença significativa em relação à testemunha e +Média com diferença significativa em relação à referência (K₂SiO₃) pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Na comparação entre os tratamentos da Faz. Capão, o teor de Si foi maior com Si + PK - 1ª época (4,40 g kg⁻¹), pelo teste de Tukey. O tratamento Si - 1ª e 2ª época, apesar de ter apresentado maior TCH e TAH (Tabela 2), não diferiu dos demais com relação ao Si foliar, possivelmente devido ao efeito de diluição na avaliação de Si em função da produção de maior quantidade de massa verde (Tabela 7).

Nas fazendas Retiro e Mirassol, o Si quando aplicado na 1ª e 2ª época foi o tratamento mais eficiente que os demais (Tabela 7). Esses resultados corroboram com Sousa *et al.* (2010) que observaram incremento nos teores de Si foliar de variedades de cana (RB86-7515 e SP81-3250) em função da fertilização com Si. Camargo *et al.* (2014), ao avaliarem a relação da absorção de Si e incidência de brocas em variedades de cana, verificaram menor incidência em plantas com maiores teores de Si, o que resultou maior produtividade. Na Faz. Capão, o tratamento que apresentou maior teor de Si foliar (Si + PK - 1ª época) foi o que demonstrou maior incremento numérico de TCH (15,8 t ha⁻¹), em comparação com tratamento Si + PK - 2ª época, mas sem diferença estatística (Tabelas 2 e 7).

4 DISCUSSÃO GERAL

Apesar das dificuldades experimentais encontradas, a falta de diferenças significativas e respostas entre os tratamentos aplicados podem ser justificadas pela época de aplicação dos tratamentos em relação à idade fisiológica da cana (dias após o corte). A aplicação dos produtos em plantas de menor porte pode ser mais responsiva em função do maior desenvolvimento radicular, melhor aproveitamento dos recursos disponíveis no solo, reestabelecimento do equilíbrio nutricional, ganho de produtividade e qualidade tecnológica.

Esse fato fica claramente demonstrado no experimento conduzido na Faz. Mirassol (180 dias após o corte), onde os tratamentos foram aplicados em local que já apresentava população de colmos mais bem definida e nutrida, o que possivelmente reduziu as chances de respostas mais expressivas (Tabela 1 e 2). Ao contrário do observado na Faz. Capão, onde os tratamentos apresentaram diferenças significativas nos valores de TCH e TAH (Tabela 2), a aplicação foi realizada em uma cana mais velha (6º corte), mas de menor porte (150 dias após o corte). Por outro lado, não

foram verificadas diferenças significativas na Faz. Retiro (120 dias após o corte), provavelmente pela alta incidência de podridão-vermelha.

Desse modo, há necessidade de se avaliar mais detalhadamente em futuras pesquisas a época correta e número de aplicações em busca de resultados mais expressivos, já que pesquisas nesse sentido em cana no Brasil ainda são escassas e inconclusivas (MELLIS *et al.*, 2016). Segundo Ismail *et al.* (2016), a época de aplicação foliar de fertilizantes em cana-de-açúcar pode ter grande importância para eficiência de atuação dos elementos minerais, onde os autores verificaram que a aplicação de elementos em conjunto apresentaram resultados positivos em comparação com aplicação isolada. Com relação ao número de aplicações, Papadakis *et al.* (2007) sugerem reaplicações consecutivas sempre que novas folhas recém-expandidas surgirem. Esse método visa o suprimento nutricional devido à baixa translocação interna nas plantas de certos nutrientes (principalmente o Si), embora a fertilização foliar seja difícil de ser empregada na cana em função de seu porte e modalidade de aplicação. Normalmente, a melhor época para aplicação foliar é o estágio vegetativo de desenvolvimento pleno da cultura (intermediário/final da fase de perfilhamento). Maghsoudi *et al.* (2015), ao avaliar aplicação foliar de Si em diferentes épocas no trigo, observaram que os melhores resultados de desenvolvimento e integridade da planta foram na fase de perfilhamento.

Aplicações consecutivas de fertilizantes são realizadas várias vezes durante o ciclo de diversas culturas juntamente com defensivos e reguladores de crescimento. Isso pode facilitar seu manejo, dependendo do propósito a que se destinam, com a ressalva de que essas misturas sejam compatíveis, que possam apresentar efeito sinérgico e trazer redução da quantidade de aplicações (HERVATIN, 2018). O emprego da fertilização foliar com Si como uma prática agrônômica na cana-de-açúcar é percebido principalmente em regiões ou áreas com baixo suprimento desse elemento para as plantas (TUBANA *et al.*, 2016). Portanto, a eficácia da adubação foliar com emprego de Si e outros nutrientes minerais pode variar dependendo da espécie, idade, estágio fenológico da cultura bem como características dos produtos como sais, complexos ou quelatos (WÓJCIK, 2004).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de Si - 1ª e 2ª época foi mais eficiente em aumentar os teores foliares de silício.

A aplicação de Si + PK - 1ª época foi mais eficiente em aumentar os teores foliares de nitrogênio, zinco e boro.

A aplicação de Si + PK - 2ª época foi mais eficiente em aumentar produtividade de cana e açúcar de sexto corte.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, F. B. **Evaluation of absorption and uptake of soil and foliar-applied silicon in rice and its accumulation under different phosphorus rates**. 2016. 84f. Master's Theses in Agronomy - LSU, Baton Rouge. 2016.

ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. **Nutrição da cana de açúcar**. Piracicaba: Potafós, 1992. 40p.

CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 155, p. 1-8, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, maio/2019**. v. 6, safra 2019/2020 - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2019. 58p.

CRUZ, J. C. S.; JERONIMO, E. M.; PERDONA, M. J. Informações sobre a Ferrugem Alaranjada da Cana-de-Açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, Piracicaba, v. 11, n. 1, 2014.

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

FELISBERTO, G. **Silício na mitigação de estresse por deficiência de zinco em plantas de arroz e soja**. 2018. 63f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2018.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Stab: Açúcar, Alcool e Subprodutos, v. 11, p. 55-65, 2000.

FERRARI, J. T.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R. J. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. Instituto Biológico - APTA, São Paulo, p. 1-8, 2010. (Documento Técnico 4).

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

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**, Sete Lagoas, v. 15, n. 1, p. 20-29, 2016.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; AARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 123, p. 459-466, 2005.

ISMAIL, M.; AHMAD, T.; ALI, A.; NABI, G.; HAQ, N. U.; MUNSIF, F. Response of sugarcane to different doses of Zn at various growth stages. **Pure and Applied Biology**, Quetta, v. 5, n. 2, p. 311-316, 2016.

336

KARTHIKEYAN, K.; SHANMUGAM, M. The effect of potassium-rich biostimulant from seaweed *Kappaphycus alvarezii* on yield and quality of cane and cane juice of sugarcane var. Co 86032 under plantation and ratoon crops. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 6, p. 3245-3252, 2017.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 70, p. 1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. 50p. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim técnico 02).

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. Effect of silicon on crop growth, yield and quality. **Silicon in Agriculture**, Beijing, p. 209-223, 2015.

LIRA, M. V. S. **Adubação de plantio e foliar com micronutrientes na produção da cana-de-açúcar**. 2018. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Animal, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Dracena, 2018.

MADEIROS, L. B.; VIEIRA, A. O.; AQUINO, B. F. Micronutrientes e silício nas folhas da cana-de-açúcar: Escória siderúrgica aplicado no solo. **Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 27-37, 2009.

MAGHSOUDI, K.; EMAM, Y.; ASHRAF, M. Foliar application of silicon at different growth stages alters growth and yield of selected wheat cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, Washington, v. 39, p. 1194-1203, 2016.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166p.

MAZHAR, S. Impact of zinc and boron application on growth, cane yield and recovery in sugarcane. **Life Sciences International Journal**, Chennai, v. 10, n. 1, p. 30-37, 2016.

MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; BECARI, G. R. G.; TEIXEIRA, L. A. J.; CANTARELLA, H.; DIAS, F. L. F. Effect of Micro-nutrients Soil Supplementation on Sugarcane in Different Production Environments: Cane Plant Cycle. **Soil Fertility & Crop Nutrition**, Washington, v. 108, n. 5, p. 2060-2070, 2016.

MESQUITA, A. G. L.; TANAKAA, F. A. O.; ZAMBROSIB, F. C. B.; CHAPOLAC, R.; CURSIC, D.; HABERMANND, G.; MAS-SOLA JRA, N. S.; FERREIRAA, V. P.; GAZIOLAEAND, S. A.; AZEVEDO, R. A. Foliar application of manganese increases sugarcane resistance to orange rust. **Plant Pathology**, v. 68, p. 1296-1307, 2019.

MIRANDA, P. S.; MORAES, T. R.; SANTOS, J. R. E.; CARVALHO, F. D.; VIANA, J. P.; PÉREZ-MALUF, R. Aplicação de silício na cultura do milho. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 16, n. 1, p. 2-6, 2018.

MOREIRA, A. S. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil: estudo de populações do patógeno e comportamento varietal**. 2013. 87f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2013.

MORO, A. L. **Relação entre silício e deficiência hídrica sobre aspectos bioquímicos e fisiológicos no arroz**. 2012. 130f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

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**, Londrina, v. 8, n. 2, p. 39-56, 2019.

NIKPAY, A.; NEJADIAN, E. S.; GOLDASTEH, S.; FARAZMAND, H. Efficacy of silicon formulations on sugarcane stalks borers, quality characteristics and parasitism rate on five commercial varieties. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 87, p. 289-297, 2017.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; CASAGRANDE, A. A. Effect of Boron and Zinc on the physiological traits of sugarcane. **Brazilian Journal of Sugar Technologies**, Campinas, v. 5, p. 355-374, 2001.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, v. 1, p. 43-48, 1995.

RAGO, A.; TOKESHI, H. Doenças da Cana-de-açúcar. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 185-196.

RODRIGUES, Á. N. **Doses e modos de aplicação de potássio em cana-planta cultivada em um Neossolo Quartzarênico do Cerrado**. 2019. 42f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2019.

RODRIGUES, F. Á.; DATNOFF, L. E. **Silicon and plant diseases**. Springer, 2015. p. 67-100.

ROSOLÉM, C. A. Adubação foliar. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 419-449.

SANTOS, E. F.; DONHA, R. M. A.; ARAÚJO, C. M. M.; LAVRES JUNIOR, J.; CAMACHO, M. A. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos chm, dris e cnd e nível crítico pela distribuição normal reduzida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1651-1658, 2013.

SANTOS, G. A. **Silício na produção de cana-de-açúcar**. 2017. 111f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, S. F.; OLIVARES, F. L.; CANELLAS, L. P. The biostimulant manufactured using diazotrophic endophytic bacteria and humates is effective to increase sugarcane yield. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 24, p. 1-6, 2017.

SINGH, A. K.; BHARATI, R. C.; CHANDRA, N.; DIMREE, S. Integrated Nutrient Management System: Smart way to improve cane production from sugarcane ratoon. **Journal of AgriSearch**, Sabour, v. 2, n. 3, p. 233-243, 2015a.

SINGH, R.; GUPTA, O. P.; PATEL, S. K. Energy Use Pattern and Scenario Change in Sugarcane (ratoon) Cultivation for Bhabar Region of Uttarakhand, India. **Journal of AgriSearch**, Sabour, v. 2, n. 2, p. 242-245, 2015b.

SOUSA JÚNIOR, G. S.; FERREIRA JÚNIOR, D. C.; CHICONATO, D. A.; ALVES, R. C.; SANTOS, D. M. M. Silicon alleviates aluminum toxicity in young sugarcane plants: chlorophylls contents and foliar growth. **Holos Environment**, Rio Claro, Supplement n. 7, p. 1-8, 2017.

SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H.; BATISTA WAGEN, D. R. Aproveitamento de silício proveniente de escória siderúrgica por cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 669-675, 2010.

SOUZA, B. F.; TREVIZAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Aspectos gerais da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 5, n. 5, p. 32-47, 2018.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. *In*: SCIENCE OF THE RICE PLANT: PHYSIOLOGY. Food and Agriculture Policy Research Center, v. 2, p. 420-433, 1996.

TANIMOTO, T. **The press method of cane analysis**. Honolulu: Hawaiians Planter's Record. 1964. p. 133-150.

TUBANA, B. S.; BABU, T.; DATNOFF, L. E. A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives. **Soil Science**, v. 181, p. 393-411, 2016.

USDA - United States Department of Agriculture; NASS - National Agricultural Statistics Service, Agricultural Statistics Board. **Crop production**. 2019. Disponível em: https://www.nass.usda.gov/Charts_and_Maps/A_to_Z/in-sugarcane.php Acesso em: 12 ago. 2019.

WÓJCIK, P. Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization - review. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v. 12, p. 201-218, 2004.