

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**Marcha de absorção de macronutrientes e produção de
variedades de cana-de-açúcar**

RAFAELA SILVA SANTANA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019**

Marcha de absorção de macronutrientes e produção de variedades de cana-
de-açúcar

RAFAELA SILVA SANTANA
Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. DR. MUNIR MAUAD

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia – Produção
Vegetal, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S232m Santana, Rafaela Silva

Marcha de absorção de macronutrientes e produção de variedades de cana-de-açúcar
[recurso eletrônico] / Rafaela Silva Santana. -- 2019.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Munir Mauad.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. *Saccharum* spp. 2. nutrição mineral. 3. acúmulo de nutrientes. 4. partição. 5. fotoassimilados.
I. Mauad, Munir. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

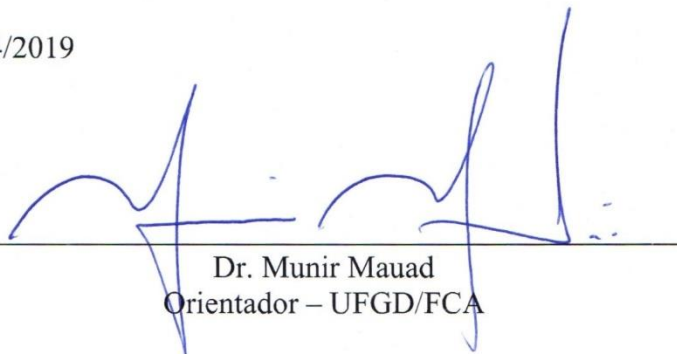
**MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES E PRODUÇÃO DE
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

por

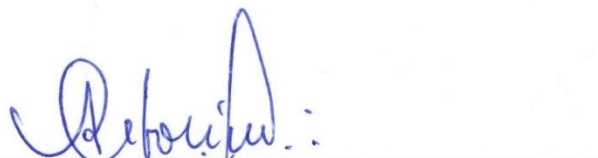
Rafaela Silva Santana

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados como parte dos
requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA

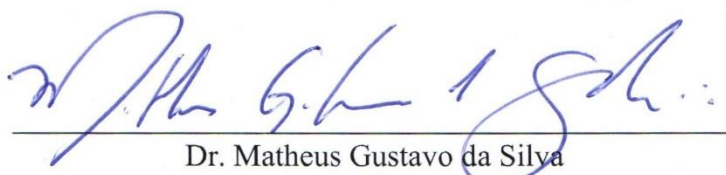
Aprovada em: 02/04/2019



Dr. Munir Mauad
Orientador – UFGD/FCA



Dr. Antônio Carlos Tadeu Vitorino
UFGD/FCA



Dr. Matheus Gustavo da Silva
UEMS

Aos meus avós Cleuza Machado e Jorge
Luiz Barbosa, nos quais me espelho e são
meus grandes exemplos

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por minha vida e saúde, me permitindo chegar até aqui.

Aos meus familiares, por todo o amor, apoio e incentivo ao longo de minha vida acadêmica, que sempre foram o meu alicerce e nunca mediram esforços em prol dos meus sonhos.

Ao meu namorado, Luiz Henrique, por ter caminhado ao meu lado, sempre paciente e compreensivo, me motivando e auxiliando durante a elaboração desta pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Munir Mauad pela confiança, paciência, disponibilidade, conhecimentos transmitidos e, acima de tudo, pela amizade que construímos ao longo deste período.

Aos membros da banca avaliadora, Prof. Dr. Antônio Carlos Tadeu Vitorino e Prof. Dr. Matheus Gustavo da Silva pela solicitude em contribuir com este trabalho.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa da Pós-Graduação em Agronomia pela infraestrutura e oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Central Energética Vicentina por disponibilizar a área experimental.

E a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho, o meu sincero Muito Obrigada!

“A agricultura é a maior invenção da humanidade.
Invenção esta que ainda não está terminada.”

Norman Borlaug

SUMÁRIO

PÁGINA

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Importância e panorama econômico da cana-de-açúcar no Brasil.....	3
2.2 Nutrição mineral da cana-de-açúcar.....	5
2.2.1 Nitrogênio.....	7
2.2.2 Fósforo.....	9
2.2.3 Potássio.....	12
2.2.4 Cálcio.....	14
2.2.5 Magnésio	16
2.2.6 Enxofre	17
2.3 Marcha de absorção de nutrientes	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Local, clima e solo	20
3.2 Delineamento experimental	21
3.3 Variedades	21
3.4 Instalação e condução da área experimental	21
3.5 Variáveis analisadas	22
3.5.1 Acúmulo de matéria seca.....	22
3.5.2 Marcha de absorção de nutrientes.....	22
3.5.3 Avaliação do estado nutricional	23
3.5.4 Produtividade de colmos	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

RESUMO

O aumento da área cultivada com cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul tem demandado informações sobre a cultura, principalmente no que se refere às necessidades nutricionais da mesma. São escassos os trabalhos que relatam a marcha de absorção de nutrientes em cana-de-açúcar, além disso, na literatura não há relatos de pesquisas voltadas ao ambiente de produção da região sul de MS. Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa determinar a marcha de absorção de macronutrientes e a produção de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido em área comercial da unidade sucroalcoeira Central Energética Vicentina, município de Vicentina (MS), durante a safra 2017/2018, utilizando-se duas variedades de cana-de-açúcar (RB92579 e SP832847). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial, com duas variedades de cana-de-açúcar, nove épocas de coleta (90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias após plantio) e 4 repetições. Foram coletadas amostras da parte aérea de 10 plantas, as quais foram divididas em folha, bainha e colmo, posteriormente realizou-se a secagem e pesagem e, por fim as amostras foram submetidas à análise laboratorial para determinação dos teores de macronutrientes em cada órgão. O acúmulo de macronutrientes na parte aérea de ambas variedades seguiu a ordem: K>N>Ca>S>Mg>P. A exportação pelos colmos seguiu a ordem K>N>Ca>S>P>Mg para RB92579 e K>N>Ca=P>S>Mg para SP832847. O máximo acúmulo de nutrientes e a máxima produção de matéria seca ocorreram no intervalo entre 240 e 300 DAP. A variedade SP832847 acumulou maiores quantidades de nutrientes e matéria seca em relação à RB92579, bem como o tempo requerido para o máximo acúmulo foi menor.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; nutrição mineral; acúmulo de nutrientes; partição; fotoassimilados.

ABSTRACT

The increase of the cultivated area with sugarcane in Mato Grosso do Sul has demanded information about the culture, mainly in relation to the nutritional needs of it. There are few studies that report the nutrient uptake in sugarcane, in addition, in the literature there are no reports of studies focused on the production environment of the MS southern region. In view of the above, the objective of this research was to determine the macronutrient uptake and dry matter production in sugarcane varieties. The experiment was carried out in a commercial area of the sugarcane plant Central Energética Vicentina, municipality of Vicentina (MS), during the 2017/2018 harvest, using two varieties of sugarcane (RB92579 and SP832847). The experimental design was in randomized blocks in factorial scheme, with two sugarcane varieties, nine collecting times (90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 and 330 days after planting) and 4 replications. Samples were collected from the aerial part of 10 plants, which were divided into leaves, sheaths and stalks, then dried and weighed, and finally the samples were submitted to laboratory analysis to determine the macronutrient contents in each organ. The accumulation of macronutrients in the aerial part of both varieties followed the order: K>N>Ca>S>Mg>P. The export by the stalk followed the order K>N>Ca>S>P>Mg for RB92579 and K>N>Ca=P>S>Mg for SP832847. The maximum accumulation of nutrients and the maximum dry matter production occurred in the interval between 240 and 300 DAP. The variety SP832847 accumulated higher amounts of nutrients and dry matter in relation to RB92579, as well as the time required for the maximum accumulation was shorter.

Keywords: *Saccharum* spp.; mineral nutrition; nutrient accumulation; partitioning; photoassimilates.

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético vem destacando-se ao longo das últimas décadas, assumindo uma parcela relevante do agronegócio brasileiro, na qual a cultura da cana-de-açúcar ocupa o terceiro lugar em área plantada (IBGE, 2017). Pesquisas apontam o Brasil como líder mundial na produção do etanol da cana-de-açúcar e, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o país apresenta capacidade tecnológica de produção, distribuição e disponibilidade de terras cultiváveis para o plantio da cana, sem prejuízo a outros alimentos (FAO, 2018).

No cenário nacional, o estado de Mato Grosso do Sul figura como o quarto maior produtor de cana-de-açúcar (CONAB, 2018b), totalizando 19 unidades sucroalcoleiras em funcionamento, das quais 15 localizam-se na região sul do estado (BIOSUL, 2018a) e contribuem para geração de mais de 20.000 empregos no setor (BIOSUL, 2018b).

Os números das últimas safras evidenciam o alcance de produtividades crescentes, principalmente nos últimos cinco anos. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018a) o volume nacional produzido na safra 2017/18 correspondeu a 633 milhões de toneladas de colmos, resultando em 38 milhões de toneladas de açúcar e 28 bilhões de litros de etanol.

Sabe-se que, entre os principais fatores responsáveis para o aumento da produtividade dos canaviais, o manejo da nutrição mineral da cana-de-açúcar aliado à escolha correta da variedade, figuram como ferramentas essenciais para expressão do máximo potencial produtivo da cultura. Dentre as variedades mais cultivadas em Mato Grosso do Sul, destacam-se RB92579 e SP832847 ocupando os respectivos o 4º e 5º lugar em área plantada no estado (BRAGA JUNIOR et al., 2018), as quais podem apresentar exigências nutricionais distintas e em momentos diferentes. Além disso, o crescimento da área cultivada com cana-de-açúcar no estado nos últimos dez anos tem gerado expressiva demanda por informações, principalmente no que se refere às exigências nutricionais da cultura e à necessidade de adubação nos ambientes de produção em que são cultivadas.

Nesse sentido, o estudo da marcha de absorção dos nutrientes, expressa na forma de curva de resposta em função dos dias após o plantio, indica os períodos em que

as plantas absorvem os nutrientes em maiores quantidades, apontando as épocas em que a adição de nutrientes faz-se necessária (VIDIGAL et al., 2009). Assim, o conhecimento da mesma é essencial para definir as estratégias de adubação para a obtenção de altas produtividades (ZOBIOLE et al., 2010).

Devido à escassez de informações científicas, disponíveis na literatura nacional, sobre a demanda por nutrientes em diferentes períodos de crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar paras as regiões produtoras de Mato Grosso do Sul, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar a marcha de absorção de macronutrientes e a produção de matéria seca na parte aérea de duas variedades de cana-de-açúcar na região sul de Mato Grosso do Sul.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância e panorama econômico da cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar é uma cultura versátil e rentável quando se trata das inúmeras possibilidades de utilização de sua matéria-prima, entre elas tem-se: a produção de açúcar e etanol, obtenção do etanol de segunda geração (OLIVEIRA et al., 2013b; PRICE et al., 2014), produção de energia (LEAL et al., 2013), alimentação animal, tanto de ruminantes quanto de monogástricos (CAIONE et al., 2011; CALHEIROS et al., 2012), fabricação de rapadura, açúcar-mascavo e cachaça (OLIVEIRA et al., 2007a; OLIVEIRA et al., 2012), além de outros subprodutos como a compostagem e a vinhaça (TRIVELIN et al., 2013; FUESS e GARCIA, 2014).

Ao longo das últimas décadas, a conscientização sobre o impacto ambiental advindo da utilização de combustíveis fósseis levou à busca por fontes de energia renováveis (PEREIRA, 2014), o que impulsionou o crescimento do setor sucroenergético e contribuiu para a expansão do cultivo de cana-de-açúcar em diversas regiões do país. O esgotamento das jazidas petrolíferas, aliado ao elevado preço do petróleo, foram fatores que alavancaram a agroindústria sucroalcooleira, além disso, a queima do etanol oriundo de fontes renováveis é menos nociva ao meio ambiente, o que o torna um combustível ecologicamente correto (CALDEIRA FILHO e SILVA, 2012).

Nesse contexto, a cultura vem se consolidando como alternativa para o setor de biocombustíveis devido seu alto potencial para produção de etanol e demais subprodutos. A crescente demanda mundial por etanol, associada à grande extensão de áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cultura, tornaram o Brasil referência na produção e exportação dessa *commodity*.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, assumindo uma parcela substancial da produção da cultura em escala global, onde contribui com 39%. Na produção e exportação de açúcar, o país também ocupa o primeiro lugar, com participação total de 21% e 45% respectivamente; Na produção de etanol, ocupa a segunda colocação, contribuindo com aproximadamente 27% da oferta do combustível (UNICA, 2016; USDA, 2016).

O setor sucroenergético atua como gerador de riquezas, somando mais de US\$ 40 bilhões em receita, o que equivale a 2% do PIB brasileiro. Em se tratando do valor bruto anual movimentado por todos os elos da cadeia sucroenergética, o montante ultrapassa US\$ 100 bilhões (UNICA, 2016). Segundo estimativas da Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2017), o PIB do setor em 2030 atingirá US\$ 74 bilhões, 87% maior que o PIB do setor em 2018. Já, a soma do faturamento de todos os elos da cadeia alcançará US\$ 206 bilhões, 72% maior que a movimentação financeira na safra 2017/2018.

Segundo levantamentos da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018a), a produção da safra 2017/18 foi de 633 milhões de toneladas, perfazendo uma área colhida de 8,7 milhões de hectares. Do total produzido foram extraídos 27 bilhões de litros de etanol e 37 milhões de toneladas de açúcar. A região centro-sul destacou-se com 588 milhões de toneladas, o que representa 93% do volume produzido e, desse montante, os estados da região centro-oeste contribuíram com 23%. Nesse cenário, Mato Grosso do Sul ocupa o quarto lugar, com 666 mil hectares destinados ao cultivo da cana-de-açúcar, contribuindo com 47 milhões de toneladas.

Embora a participação de Mato Grosso do Sul no cenário nacional da produção de cana-de-açúcar (safra 2017/18) ainda seja discreta (7,4%), nota-se que o mesmo encontra-se em constante expansão e consolidação da atividade canavieira. Estudos conduzidos por Wissmann et al. (2014) demonstram a evolução da área plantada e da produção de cana-de-açúcar na região centro-oeste nas safras de 2003/04 a 2012/13 e, comparativamente ao total nacional, a região centro-oeste apresentou crescimento superior, tanto em área plantada quanto em produção. Em número absolutos, o estado de Mato Grosso do Sul foi o que apresentou a maior taxa de crescimento da área cultivada e do volume produzido, exibindo aumentos de 363% e 320% respectivamente.

Diante dos números apresentados, a perspectiva é de que a atividade canavieira em Mato Grosso do Sul permaneça em ascensão, o que segundo a Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul (BIOSUL, 2018a) é uma projeção plausível, haja visto que nos últimos 15 anos o número de indústrias sucroalcooleiras instaladas no estado aumentou de 8 em 2003 para 21 em 2018. Ao todo, somam-se 19 unidades em funcionamento, das quais 14 localizam-se na região sul do estado e contribuem para geração de mais de 20.000 empregos no setor (BIOSUL, 2018b).

A maior parcela do cultivo de cana em MS concentra-se na macrorregião sudoeste do estado (70%), na qual a microrregião da Grande Dourados destaca-se pelo maior número de usinas sucroenergéticas, respondendo por 69% da área cultivada (UNICA, 2018). Segundo dados da Canasat/Inpe (2014), a região da Grande Dourados apresentou um crescimento de 755%, passando de 37.632 hectares de cana-de-açúcar, em 2003, para 321.859 hectares, em 2013.

As regiões produtoras de cana de Mato Grosso do Sul estão em constante expansão, assumindo posição de destaque no panorama nacional. Uma breve análise da evolução da produção de cana em MS reforça essa perspectiva, na qual a safra 1984/85 foi a primeira em que a produção registrada superou 2 milhões de toneladas (IBGE, 2014), enquanto 34 anos depois, na safra de 2018/2019, foram produzidas 49 milhões de toneladas (CONAB, 2018b). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), o estado apresentou aumento regular da produção de cana-de-açúcar, principalmente na última década, com uma adição média de cerca de 3,8 milhões de toneladas por ano.

Entre os fatores responsáveis pelo incremento na produção da cultura, está a adubação visando uma nutrição equilibrada, que constitui-se no alicerce do sistema produtivo, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros. De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2016), a cana-de-açúcar é responsável pelo consumo de 16% de todo o adubo comercializado no Brasil, sendo a parcela da cultura estimada em 3,4 milhões de toneladas de fertilizantes. Diante desses números, cabe lembrar que a adubação e a correção do solo assumem uma parcela significativa dos custos de produção, podendo representar até 30% das despesas, o que faz necessário a adoção de estratégias que minimizam estes custos, sem prejuízo à produção das culturas agrícolas.

2.2. Nutrição mineral da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas que mais produzem biomassa por unidade de área e elevada extração de nutrientes (VITTI et al., 2011; CALHEIROS et al., 2012; TRIVELIN et al., 2013; MISHRA et al., 2014; MEENA et al., 2015) e, entre

os principais fatores limitantes à sua produtividade estão o suprimento adequado de nutrientes e de água no solo.

O aumento na produção de biomassa pela cana-de-açúcar deve-se, principalmente, à maior extração e acúmulo de nutrientes, de modo que o conhecimento dessas variáveis torna-se de fundamental importância para o fornecimento adequado e eficiente dos fertilizantes, pois possibilita a quantificação e momento exato para a prática (COLETI et al., 2006), atendendo à demanda nutricional da cultura.

Estudos pioneiros realizados por Malavolta e Haag (1964), com a variedade Co419, apontam que são absorvidos, em média, 132 kg de N, 17 kg de P, 133 kg de K, 19 kg de Ca, 31 kg de Mg e 12 kg de S para produção de 100 toneladas de colmo.

No início da década de 70, o crescente incentivo ao cultivo da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, o surgimento de novos materiais genéticos no mercado, impulsionaram o desenvolvimento de novas pesquisas, buscando conhecer a exigência nutricionais das novas variedades. Ensaio de campo realizados em diferentes tipos de solos mostraram que são requeridos, em média, 85 kg de N, 12 kg de P, 76 kg de K, 82 kg de Ca, 31 kg de Mg e 35 kg de S para a produção de 100 toneladas de colmo para a cana planta (PLANALSUCAR, 1975).

De acordo com Orlando Filho (1983), a demanda nutricional média da cultura para a produção de 100 toneladas de colmo é da ordem de 143 kg de N, 19 kg de P, 174 kg de K, 87 kg de Ca, 49 kg de Mg e 44 kg de S, enquanto estudos realizados por Franco et al. (2008) com a variedade SP81-3250 relatam que, para a produção da mesma quantidade, são necessários 138, 33, 390, 84, 43 e 26 kg de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S respectivamente.

Nas últimas décadas, com o lançamento de novas variedades no mercado, houve a necessidade de desenvolvimento de novos estudos sobre a exigência nutricional destes materiais. Nesse sentido, Oliveira et al. (2011), estudando o comportamento de onze variedades de cana-de-açúcar quanto ao acúmulo de nutrientes, constatou que, para a variedade RB92579, foram requeridos 260; 25; 213; 306 e 122 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg respectivamente, onde o máximo acúmulo de N, P, K e Mg ocorreu aos 272; 285; 246 e 272 DAP, respectivamente.

Leite (2011), avaliando o acúmulo de nutrientes na variedade SP891115 cultivada no estado de São Paulo, relata que são absorvidos cerca de 162; 26; 658; 38; 17 e 37 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, em que o máximo acúmulo se deu aos 237 DAC.

Silva (2011), avaliando a absorção de nutrientes para a variedade RB92579 em Coruripe-AL, observou que foram requeridos, 143 kg ha⁻¹ de N, 19 kg ha⁻¹ de P, 213 kg ha⁻¹ de K, 52 kg ha⁻¹ de Ca, 33 kg ha⁻¹ de Mg e 18 kg ha⁻¹ de S, onde o máximo acúmulo observado para N e P ocorreu aos 240 dias após o corte (DAC), enquanto K, Ca, Mg e S apresentaram o ponto de máximo aos 360 DAC. Por outro lado, Salviano et al. (2017), estudando o acúmulo de nutrientes em cultivo irrigado na mesma variedade cultivada em Juazeiro-BA, observou que foram necessários 432 kg ha⁻¹ de N, 49 kg ha⁻¹ de P, 441 kg ha⁻¹ de K, 89 kg ha⁻¹ de Ca, 20 kg ha⁻¹ de Mg e 36 kg ha⁻¹ de S, sendo a máxima absorção dos nutrientes constatada entre 220 a 352 DAC.

Estudos realizados por Benett et al. (2012) e Benett et al. (2013), demonstram a quantidade acumulada de nutrientes na parte aérea da variedade RB867515, na qual foram extraídos em média 55 kg ha⁻¹ de N, 6 kg ha⁻¹ de P, 60 kg ha⁻¹ de K, 42 kg ha⁻¹ de Ca, 26 kg ha⁻¹ de Mg e 11 kg ha⁻¹ de S pela palhada, enquanto que para os colmos esses valores foram da ordem de 99, 6, 87, 13, 12 e 11 ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente.

As diferenças observadas entre as quantidades extraídas devem-se, principalmente, às características genéticas das variedades em estudo, as quais apresentam exigências nutricionais distintas, e ao ambiente de produção em que estão inseridas. Contudo, poucos trabalhos com tal enfoque foram realizados, principalmente para as variedades provenientes de programas de melhoramento vegetal recentes (OLIVEIRA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011) cultivadas em Mato Grosso do Sul.

2.2.1. Nitrogênio

O nitrogênio (N) ocorre no solo, basicamente, sob duas formas: N orgânico, integrante da matéria orgânica do solo e de baixa disponibilidade para as plantas; e N inorgânico, prontamente disponível para as plantas, nas formas de amônio (NH₄⁺) e (NO₃⁻) (RAIJ, 2011; SOUSA e FERNANDES, 2018).

A absorção do N se dá, principalmente, nas formas amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-), com predominância da segunda, no entanto, também há relatos da absorção do N-orgânico em condições de baixa disponibilidade de N-inorgânico (PAUNGFOO-LONHIENNE et al., 2008; VINALL et al., 2012; LOPES e LIMA, 2015).

Em espécies de via fotossintética C4, o NO_3^- é reduzido e assimilado nas células do mesófilo foliar e o CO_2 incorporado nas células da bainha dos feixes vasculares, o que aumenta a eficiência fisiológica deste grupo de plantas em relação às espécies C3, no que diz respeito à utilização da energia luminosa para assimilar N (TAIZ e ZEIGER, 2013). Via de regra essas plantas exibem altas taxas de fotossíntese líquida e eficiência na utilização do nitrogênio e da energia solar, o que as tornam eficientes na produção de matéria seca (TAIZ e ZEIGER, 2013; LOPES e LIMA, 2015).

A cana-de-açúcar, em se tratando de uma Poaceae de metabolismo C4, apresenta grande demanda por nitrogênio. Este macronutriente é constituinte de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, atua direta ou indiretamente em vários processos bioquímicos, em especial na atividade das enzimas PEPcase e RUBISCO (LOPES e LIMA, 2015). Estima-se que espécies C4 imobilizam cerca de 25% e 10% do N total contido nos tecidos foliares para formação da Rubisco e PEPcase respectivamente (MARSCHNER, 2012), constituindo-se em uma reserva de N solúvel foliar, de modo a manter o aparato fotossintético ativo.

Assim, a deficiência de N promove a diminuição na síntese de clorofila e aminoácidos essenciais, reduzindo drasticamente a atividade fotossintética e, conseqüentemente a produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, comprometendo o desenvolvimento e rendimento da cultura (ZHU et al., 2014).

O crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar estão limitados à quantidade de N disponível para a cultura, cuja demanda nutricional varia de 0,5 a 0,9 kg N t^{-1} de colmos produzida (TRIVELIN et al., 2002; FRANCO et al., 2008).

Embora o N constitua apenas 1% da massa seca total (VITTI et al., 2010), a cana-de-açúcar exhibe resposta pronunciada na produção de biomassa da parte aérea e radicular com o fornecimento de N (FRANCO et al., 2008; OTTO et al., 2009), de modo que sua falta desencadeia redução nas atividades fisiológicas, diminuindo assim o acúmulo de fitomassa. Além disso, por ser uma espécie de metabolismo C4, produz duas

vezes mais matéria seca por unidade de nitrogênio presente nos tecidos foliares, quando comparada às plantas C3 (KERBAUY, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013).

De acordo com Oliveira et al. (2016), o N absorvido aumenta a atividade meristemática da parte aérea resultando em maior perfilhamento e índice de área foliar (IAF), além de aumentar a longevidade das folhas. Esse elemento atua no metabolismo dos carboidratos, influenciando diretamente o crescimento e a qualidade dos colmos, bem como o vigor das plantas (SHEKINAH et al., 2012).

Tanto o excesso quanto a deficiência de N exercem influência na qualidade tecnológica dos colmos. Quando ocorre a deficiência, há decréscimo no teor de umidade da planta, diminuindo a qualidade do caldo, aumento do teor de fibra e diminuição no teor de sacarose, além do acúmulo de sacarose nas folhas e alta relação folha/colmo (PEREIRA, 2011). Com o excesso de N, ocorre seu acúmulo no colmo, comprometendo a qualidade do caldo e atraso no período de maturação (VITTI et al., 2010), além de promover o crescimento excessivo da planta (MEGDA et al., 2012).

O pico de demanda de nitrogênio ocorre durante o perfilhamento e máximo crescimento, sendo que para a cana-planta a máxima absorção da maioria dos elementos minerais ocorre por volta de nove meses de idade do canavial (OLIVEIRA et al., 2010). Portanto, o equilíbrio nutricional neste período de grande exigência é importante, pois a carência ou excesso dos minerais prejudica o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, a qualidade da matéria-prima.

2.2.2. Fósforo

O fosforo (P) é absorvido pelas plantas, preferencialmente na forma de fosfato ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ e HPO_4^-). É um elemento essencial do metabolismo vegetal, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese (FAGERIA, 2009). Caracteriza-se por ser componente estrutural dos ácidos nucléicos, genes e cromossomos, bem como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A mobilidade do P presente na solução do solo até as raízes dá-se, quase que exclusivamente, por difusão, processo pelo qual o elemento percorre curtas distâncias numa fase aquosa estacionária a favor do gradiente de concentração (RAIJ, 2011).

Ao contrário de seu comportamento no solo, na planta o P apresenta alta mobilidade, destinando-se aos centros de maior atividade da planta, tais como região de crescimento e de assimilação de carbono, que demandam energia (ADP e ATP) e, portanto, dependem da assimilação de P no sistema (KINGSTON, 2014).

Assim, folhas mais velhas atuam como fonte no fornecimento do nutriente para os pontos de crescimento, que por sua vez atuam como dreno, de modo que, à medida que os tecidos envelhecem, apresentam menores quantidades de P. Nesse sentido, Salviano et al. (2017), observou a seguinte ordem decrescente de quantidade de fósforo na cana-de-açúcar: colmos em elongação, folhas jovens, folhas secas e bainhas.

A importância do fósforo reside no fato deste macronutriente participar, direta e indiretamente, de diversos processos metabólicos nas plantas. Na cana-de-açúcar, inicialmente, o P desempenha notada contribuição na formação e desenvolvimento do sistema radicular (ROSSETTO et al., 2010), no perfilhamento (CAIONE et al., 2011) e, posteriormente no comprimento dos entrenós (RODRIGUES, 2010), interferindo substancialmente na produtividade dos canaviais.

Korndörfer e Melo (2009), estudando o efeito de fontes e doses de P em cana planta, observaram resposta pronunciada na produtividade de colmos com o incremento das doses, independente da fonte. Para Zambrosi (2011), o incremento na produtividade de colmos, na presença da adubação fosfatada, foi da ordem de 17%, evidenciando a importância do P para a cultura da cana-de-açúcar.

O perfilhamento, o diâmetro de colmo e a altura da planta são determinados, em grande parte, pelas características genéticas da variedade, no entanto, esses atributos também sofrem influência das práticas culturais adotadas, entre as quais se destaca a adubação (MAGRO et al., 2011), principalmente a fosfatagem. O número de perfilhos é o componente da produção que mais se relaciona com a produtividade e é influenciado por doses de fósforo (CAIONE et al., 2011). O comprimento dos entrenós também sofre influência deste nutriente, pois o crescimento dos colmos é controlado pelo ácido

giberélico, que possui fósforo na composição dos precursores dessa molécula (RODRIGUES, 2010).

A deficiência de fósforo interfere negativamente a absorção de nitrogênio (MAHADEVIAIAH et al., 2007), pois o baixo fornecimento de P compromete a absorção de nitrato, reduz a translocação deste para a parte aérea e favorece o acúmulo de aminoácidos devido à inibição da síntese proteica (NOVAIS e SMYTH, 1999; FERNANDES, 2006). Tal condição deve-se à redução na disponibilidade de energia (ATP) necessária para a absorção ativa de nitrato através da plasmalema das células radiculares (VILAR e VILAR, 2013). Estudos conduzidos por Zambrosi (2011) relatam que a adubação fosfatada proporcionou um aumento de 11% nos teores de nitrogênio em cana-de-açúcar, indicando a existência de uma correlação positiva entre N e P.

O fósforo exerce função primordial na síntese e no transporte de sacarose, pois em ambas reações há gasto energético, sendo essa energia proveniente da hidrólise da molécula de ATP. Inicialmente um grupo fosfato, proveniente da hidrólise do ATP, é transferido para a glicose, formando um intermediário de glicose fosforilada (glicose-1-fosfato), o qual reage com a frutose, resultando na formação da sacarose (TAIZ et al., 2015). A sacarose, então, é transportada ativamente nas células do floema, processo que ocorre contra um gradiente de concentração e, portanto, requer ATP (VIEIRA et al., 2010)

Além disso, as características tecnológicas, como porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana (pol%) e pureza de caldo são influenciadas pela disponibilidade de P (SIMÕES NETO et al., 2009). Santos et al. (2011) relatam que o fósforo melhora a qualidade da matéria-prima e aumenta a produtividade de açúcar, por meio do aumento nos teores de sólidos solúveis e de sacarose nos colmos.

A insuficiência de P também é problemática para a clarificação do caldo durante a fabricação do açúcar, elevando o custo de produção em virtude da necessidade de adição de fosfatos solúveis para atingir o teor ideal de P_2O_5 , fundamental para uma clarificação eficiente. O baixo teor de P dificulta a floculação, de modo a prejudicar a decantação de impurezas, as quais comprometem a qualidade do açúcar e o valor econômico do produto (ROSSETTO et al., 2010). Körndorfer (2004) explica que, no processo de clarificação, o fósforo reage com hidróxido de Ca, resultando na formação do fosfato tricálcico, o qual ao flocular e sedimentar, arrasta as impurezas para a parte inferior do decantador, diminuindo a turbidez do caldo.

2.2.3. Potássio

O potássio (K) destaca-se entre os nutrientes de maior demanda pelas plantas, de modo que, em algumas culturas, é o elemento absorvido em maior quantidade. Sua absorção pode ocorrer pelo encontro natural da raiz com o elemento, chamado interceptação radicular; por fluxo de massa, onde o K movimenta-se junto com a solução do solo a favor do gradiente de umidade; e por difusão, passando de um ambiente mais concentrado para um de menor concentração (MALAVOLTA, 2005; RAIJ, 2011).

Na forma do cátion K^+ , o potássio desempenha um papel importante na regulação do potencial osmótico das células, na ativação de várias enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (AMTMANN e ARMENGAUD, 2009; ROSSETTO et al., 2010), além de ser primordial para os processos de abertura e fechamento estomático (CAVALCANTE et al., 2015).

Similar ao nitrogênio, o potássio é facilmente redistribuído para os órgãos em desenvolvimento, de modo que sua deficiência aparece primeiro nas folhas mais velhas, (FAGERIA, 2009; ROSSETTO et al., 2010). O efeito da baixa concentração de K nos vegetais provoca redução na atividade enzimática, diminuição na concentração de amido, acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, redução da atividade das ATPases, bem como diminuição na atividade da redutase do nitrato (KERBAUY, 2012).

Devido à baixa seletividade das membranas plasmáticas ao K (TAIZ et al., 2015), sua absorção e transporte pelo xilema e floema são facilitadas. Grande parte do nutriente presente nos tecidos vegetais encontra-se na forma solúvel (mais de 75%), facilitando a sua redistribuição via floema. Desta forma, em condições de baixo suprimento de K pelo meio, o elemento é redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas e para as regiões de crescimento, justificando a manifestação dos sintomas de deficiência nas folhas mais velhas (FAGERIA, 2009).

Embora este elemento não possua função estrutural, participa de diversas reações enzimáticas no metabolismo de carboidratos e proteínas, e na translocação de açúcares (KARLEY e WHITE, 2009), produtos esses utilizados para formação e acúmulo nos órgãos reprodutivos. Assim, com a formação do colmo, este órgão torna-se o dreno preferencial e demanda a translocação e redistribuição de metabolitos para formação de seus tecidos, que é mediada pelo K por meio de reações enzimáticas.

As plantas produtoras de amido, açúcar e fibras são particularmente exigentes em potássio (FAQUIN, 2005). A necessidade de K para o ótimo crescimento das plantas

está aproximadamente entre 10 a 50 g kg⁻¹ de matéria seca (MEURER et al., 2018), variando em função da espécie e do órgão avaliado.

Estudos conduzidos por Oliveira et al. (2010) mostram que o potássio é o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar durante seu desenvolvimento, sendo que para a produção de 120 toneladas de colmo por hectare são absorvidos, aproximadamente, 370 kg de K₂O ha⁻¹. Os autores salientam que a maior parte do potássio absorvido encontra-se alocada nos colmos e o pico de demanda ocorre durante a fase de máximo crescimento (alongamento dos colmos).

A elevada extração de K pela cana-de-açúcar também foi evidenciada por Oliveira et al. (2011), avaliando o acúmulo de nutrientes por variedades de cana no município de Carpina (PE). Segundo os autores, variedades como SP813250 e SP791011 acumularam, em média, 402 kg ha⁻¹ de K, enquanto RB92579; RB867515; SP784764 e RB863129 acumularam menos de 300 kg ha⁻¹ de K, onde o período de máximo acúmulo foi relatado cerca de 246 DAP.

De acordo com Otto et al. (2010), a adubação potássica em cana de açúcar promove incremento na altura, perfilhamento e na produtividade de colmos e de açúcar. Resultados semelhantes foram encontrados por Singh et al. (2010), em estudos realizados na Índia, onde também foram observados efeitos positivos da adubação fosfatada na produção de colmos.

O K assume papel importante no transporte da sacarose e dos fotoassimilados das folhas para os órgãos de armazenamento. Durante este percurso, os produtos fotoassimilados passam por três sistemas, sendo eles, a difusão no simplasto e espaço livre, transporte ativo, através da membrana citoplasmática para o floema, e fluxo passivo pelos tubos crivosos (TAIZ e ZEIGER, 2013; TAIZ et al., 2015).

Este macronutriente influencia os três processos, em particular os dois últimos. No primeiro processo, o K⁺ proporciona o aumento no potencial osmótico das células, favorecendo o carregamento de fotoassimilados. Posteriormente, o transporte de açúcares via membrana requer Mg-ATPases, as quais são fortemente estimuladas na presença de K, além disso, a membrana plasmática possui baixa seletividade ao K, sugerindo a existência de um mecanismo de cotransporte K⁺/açúcares (KERBAUY, 2012). Em relação ao último processo, Marschner (2012) relata que a função do potássio

é manter o pH alto nos tubos crivosos, facilitando assim o descarregamento da sacarose no floema.

Logo, o suprimento adequado de K aumenta a síntese de carboidratos, em função da maior taxa fotossintética, bem como a eficiência de translocação desses compostos para os órgãos de armazenamento.

Por outro lado, o suprimento inadequado de K pode ocasionar a diminuição na assimilação do CO₂ nos cloroplastos, pois, com a redução da turgidez das células guardas, a abertura dos estômatos não ocorre regularmente (ROSSETTO et al., 2010), diminuindo, portanto, a taxa fotossintética e reduzindo assim, as reservas de carboidratos das plantas (TAIZ et al., 2015). Normalmente, plantas deficientes em potássio apresentam acúmulo de açúcares hexoses e decréscimo de carboidratos de maior cadeia como amido e sacarose nas folhas, como consequência da menor atividade da sacarose-fosfato-sintase (MARSCHNER, 2012).

2.2.4. Cálcio

Segundo Malavolta (2005), há duas formas pelas quais o cálcio (Ca) pode ser absorvido pelas raízes: na forma de íon Ca⁺² e o cálcio quelatizado, ambos da solução do solo. O contato com a raiz se faz essencialmente por fluxo de massa (ROSSETTO et al., 2010), destacando a importância dos níveis de umidade no solo e, em contrapartida, explicando sua deficiência nos períodos quentes e secos.

Atuando em diversas funções na planta, o Ca participa como elemento estrutural (parede celular), elemento regulatório (equilíbrio entre cátions e ânions, divisão e extensão celular e nos processos secretórios) (LIMA et al., 2018), além de sua notada contribuição como segundo mensageiro no citoplasma (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2015).

O cálcio é essencial para integridade da membrana plasmática das células vegetais, especificamente no que se refere à seletividade do transporte de íons que estas realizam, destacando-se na proteção da membrana plasmática dos efeitos deletérios dos íons hidrogênio (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

Devido à baixa mobilidade no floema, os níveis de cálcio nos diferentes órgãos da planta estão diretamente relacionados ao fluxo transpiratório via xilema (LIMA et al., 2018). Deste modo, após ser transportado pelo xilema, e parte pelo floema, ao

chegar nas folhas reduz sua mobilidade, de modo que os sintomas de deficiência tornam-se visíveis nas folhas jovens e demais tecidos jovens da planta (FLOSS, 2011). A maior parte do conteúdo de Ca do tecido vegetal encontra-se alocada na parede celular, principalmente na lamela média sob formas não solúveis em água, como o pectato de cálcio, onde o complexo cálcio-pectina atua como agente cimentante, conferindo rigidez aos tecidos (HEPLER e WINSHIP, 2010; PROSEUS e BOYER, 2012; PEAUCELLE et al., 2012).

Estudos sobre a marcha de absorção de nutrientes em variedades de cana-de-açúcar, evidenciam que a extração de Ca permanece crescente até o final do período de cultivo, sendo o colmo o órgão com a maior quantidade final do nutriente (BARBOSA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2010). Embora este nutriente possua baixa mobilidade no floema, supõe-se que a via xilemática seja a principal rota de transporte de Ca para o colmo, no qual desempenha funções estruturais na parede celular. Da mesma forma, o máximo acúmulo de Ca em períodos mais tardios correlaciona-se ao período alongamento dos entrenós do colmo para a deposição da sacarose, momento que se caracteriza por intensa divisão celular e, conseqüentemente, grande demanda por Ca, haja visto que cada célula de armazenamento de sacarose possui íons Ca^{+2} na constituição de sua parede celular.

Uma quantidade significativa de Ca é extraída no início de desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo importante no enraizamento e integridade de células, garantindo o crescimento e estabelecimento da cultura (ROSSETTO et al., 2010). Assim, o adequado desenvolvimento do sistema radicular, possibilita a aquisição de água e nutrientes, necessários ao alcance de produtividades satisfatórias. Demattê et al. (2011), avaliando a influência da calagem sobre a produtividade da cana-de-açúcar, constatou que a dose de $1,6 \text{ t ha}^{-1}$ promoveu um acréscimo de 16 toneladas de colmo por hectare, o que pode estar relacionado ao estímulo do desenvolvimento radicular aliado também ao efeito do aumento do pH do solo na disponibilidade de nutrientes.

Nesse contexto, a deficiência de Ca, além de prejudicar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, para a cultura da cana-de-açúcar especificamente, pode ser problemática ao comprometer a atividade de α -amilase nas folhas. Cabe lembrar que esta enzima atua na quebra da molécula de amido, dando origem a moléculas de glicose, as quais ao unirem-se com frutose serão transformadas em sacarose, modo que

deficiência de Ca pode ser problemática para a produção de açúcar, haja visto que esta enzima é cálcio dependente (KOBBLITZ, 2010).

2.2.5. Magnésio

O magnésio (Mg) é absorvido pelas plantas na forma de Mg^{2+} . Quanto a sua mobilidade, o Mg^{2+} é bastante móvel no floema e no xilema, e o transporte e redistribuição se dá na forma iônica (MARCHNER, 2012; KERBAUY, 2012).

Dentre os macronutrientes, é um dos principais ativadores enzimáticos desempenhando, portanto, papel fundamental em inúmeros processos fisiológicos e bioquímicos nas células vegetais (BOSE et al., 2011).

O Mg participa de várias reações enzimáticas que envolvem ATP E ADP. Também possui um papel fundamental nas células vegetais como componente central da molécula de clorofila, assim como contribui para a integridade dos ribossomos, facilitando a ligação peptídica (MARENCO e LOPES, 2005). A insuficiência de magnésio é extremamente danosa para o metabolismo vegetal, pois esta compromete a biossíntese de clorofilas e citocromos, sem os quais não há transferência de elétrons e, conseqüentemente, a produção de energia na célula cessa (TAIZ et al., 2015).

Outro aspecto importante relacionado a esse nutriente é sua interação com P, uma vez que este cátion participa da ativação de enzimas quinases e da maioria das reações que atuam na transferência de P (FAGERIA, 2009; MARSCHNER, 2012). Isso explica a influência negativa da deficiência de Mg sobre a taxa de absorção e teores de P na raiz e na parte aérea.

O crescimento e desenvolvimento de raízes é influenciado pela presença de magnésio. Estudos realizados por Cakmak e Kirby (2008), relatam o efeito expressivo da deficiência de magnésio no crescimento das raízes, de modo que um sistema radicular pouco desenvolvido limita a absorção de água, nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade das culturas.

Este nutriente exerce notada influência no transporte de fotoassimilados pelo floema e afeta, sobremaneira, a distribuição de carboidratos entre os órgãos fonte e dreno. O íon Mg^{+2} participa como ativador enzimático da formação do complexo Mg-ATP, pois de acordo com Cakmak e Yazici (2010), o carregamento de sacarose é influenciado negativamente pela baixa concentração deste complexo nos locais de carregamento do

floema, comprometendo o transporte e a distribuição dos fotossintatos dentro da planta. Segundos os autores, esse complexo é necessário para o funcionamento adequado da enzima H^+ -ATPase, que figura como fonte de energia para o carregamento e manutenção do transporte de sacarose no floema.

Hermans et al. (2005), avaliando a deficiência de Mg em beterraba açucareira, observou que plantas deficientes exibiram aumento acentuado no acúmulo de sacarose e amido nas folhas em detrimento às raízes, além disso, a biomassa da parte aérea e o conteúdo de clorofila das plantas com deficiência de Mg foi inferior em comparação às plantas controle. Tais resultados evidenciam que a deficiência de Mg, além de prejudicar a atividade fotossintética e produção de biomassa, compromete o transporte de sacarose da fonte (folha) para o dreno (raiz tuberosa).

Assim, uma das primeiras reações das plantas ao estresse causado pela deficiência de Mg é um expressivo acúmulo de carboidratos nas folhas, especialmente sacarose e amido e, conseqüentemente, a alteração da partição da matéria seca entre parte aérea e raiz, resultando no aumento da razão massa seca parte aérea/massa seca raiz (CAKMAK e KIRBY, 2008).

Embora a extração de Mg na cana-de-açúcar ocorra de maneira gradual, o período de maior demanda compreende os estádios de crescimento mais tardios, sendo a maior parte do Mg absorvido destinada aos colmos (OLIVEIRA, 2011), onde desempenha funções importantes para a qualidade da matéria-prima da cana.

2.2.6. Enxofre

O enxofre (S) é absorvido pelas plantas na forma de SO_4^{2-} . O movimento desse íon para a superfície radicular ocorre predominantemente por fluxo de massa (MARSCHNER, 2012) mas, em muitos casos, esse ânion é retido no solo. Em solos nos quais predominam óxidos de ferro e alumínio, pode haver adsorção de SO_4^{2-} no subsolo, sendo o pH do solo um fator muito importante para esse processo, de tal modo que quanto maior for o pH, menor será a adsorção do ânion (RAIJ, 2011).

Considerado um elemento importante para a produção de aminoácidos, proteínas e clorofila, é um componente de vitaminas e de alguns hormônios da planta. Na planta pode ser encontrado nas formas orgânicas de aminoácidos (cisteína, cistina e

metionina) ou em compostos de S (adenosina 5-fosfosulfato e 3-fosfoadenosina 5-fosfosulfato) (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

O enxofre é importante não somente como nutriente, mas também por seu papel no mecanismo de defesa das plantas contra pragas e doenças. Os compostos secundários contendo N e S em sua estrutura como precursores inativos, são convertidos na forma ativa pela ação de enzimas em resposta ao ataque de patógenos ou pragas (STIPP e CASARIN, 2010).

A deficiência do S se revela quando as folhas mais jovens apresentarem as lâminas foliares uniformemente amareladas ou cloróticas, tendo em vista que, o S possui baixa mobilidade na planta (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

Estima-se que a necessidade de S nas plantas varia de 0,02 a 1,8% da matéria seca (VITTI et al., 2015). Embora os estudos envolvendo a resposta da cana-de-açúcar ao S sejam escassos, estima-se que para a produção de 100 t de colmos são necessários cerca de 50 kg ha⁻¹ de S, a qual corresponde a um terço da demanda por nitrogênio e o dobro da demanda por fósforo (FRANCO, 2008).

A fonte mais comum de enxofre na agricultura é o gesso (BLUM et al., 2013). A importância deste corretivo no cultivo da cana-de-açúcar é evidenciada por seus efeitos positivos no solo (SORATTO e CRUSCIOL, 2008), na planta (CARVALHO et al., 2013), na produção de colmos (FERNANDES et al., 2007) e na qualidade tecnológica (ROCHA, 2007).

A extração de S ocorre nos períodos mais tardios do desenvolvimento da cana, sendo a maior parte do S absorvido destinada aos colmos. Nesse sentido Franco (2008), objetivando avaliar a extração de nutrientes em cana-planta, verificou que mais da metade do S absorvido pelas plantas foi removido pelos colmos na colheita do canavial, do restante, cerca de 30% do S total ficou na palhada.

A remobilização de S para os colmos é de fundamental importância para a qualidade da cana. Ensaios conduzidos por Kumar et al. (2016), avaliando respostas da aplicação de S em cana-de-açúcar cultivada na Índia, mostram que adubação sulfatada na dose de 35 kg ha⁻¹ promove incremento na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, resultando em aumento 11,1% no rendimento de açúcar, quando comparada ao tratamento sem aplicação de enxofre.

2.3 Marcha de absorção de nutrientes

De acordo com Kurihara et al. (2013), a exigência nutricional das plantas, para o funcionamento adequado de seu metabolismo, pode ser estimada por modelos matemáticos, utilizando-se como parâmetro a quantidade de matéria seca produzida em determinado órgão. Neste contexto, a marcha de absorção de nutrientes fornece informações importantes, no que tange à nutrição mineral de plantas, destacando-se como uma ferramenta importante para definição dos mecanismos relativos a adubação das culturas (ZOBIOLE et al., 2010).

O conhecimento da marcha de absorção de nutrientes e do acúmulo de matéria seca, relacionados às fases de desenvolvimento das culturas, tem notada relevância no que diz respeito à distribuição eficiente dos nutrientes dentro de cada fase, conforme a sua necessidade fisiológica (FRANCO, 2011).

Segundo Duarte et al. (2003) a recomendação das adubações é embasada nos estudos de resposta à fertilização e na exigência nutricional da cultura. Devido, principalmente, aos picos de máxima absorção pela planta, a exigência das culturas por nutrientes não pode ser inferida somente a partir da extração total. Faz se necessário, portanto, o estudo da marcha de absorção dos nutrientes para definir quando e quanto de cada nutriente deve ser fornecido às plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local, clima e solo

O experimento foi conduzido em área comercial da unidade sucroalcoleira Central Energética Vicentina, município de Vicentina (MS), sob coordenadas geográficas de 22°24'33"S e 54°26'08"W e 368m de altitude. O clima conforme a classificação de Köppen é do tipo Am (ALVARES et al., 2013), com verões quentes e invernos secos, temperaturas máximas observadas nos meses de dezembro e janeiro e as temperaturas mínimas entre maio e agosto. As precipitações pluviais e as temperaturas médias, registradas durante a realização do experimento, são apresentadas na Figura 1.

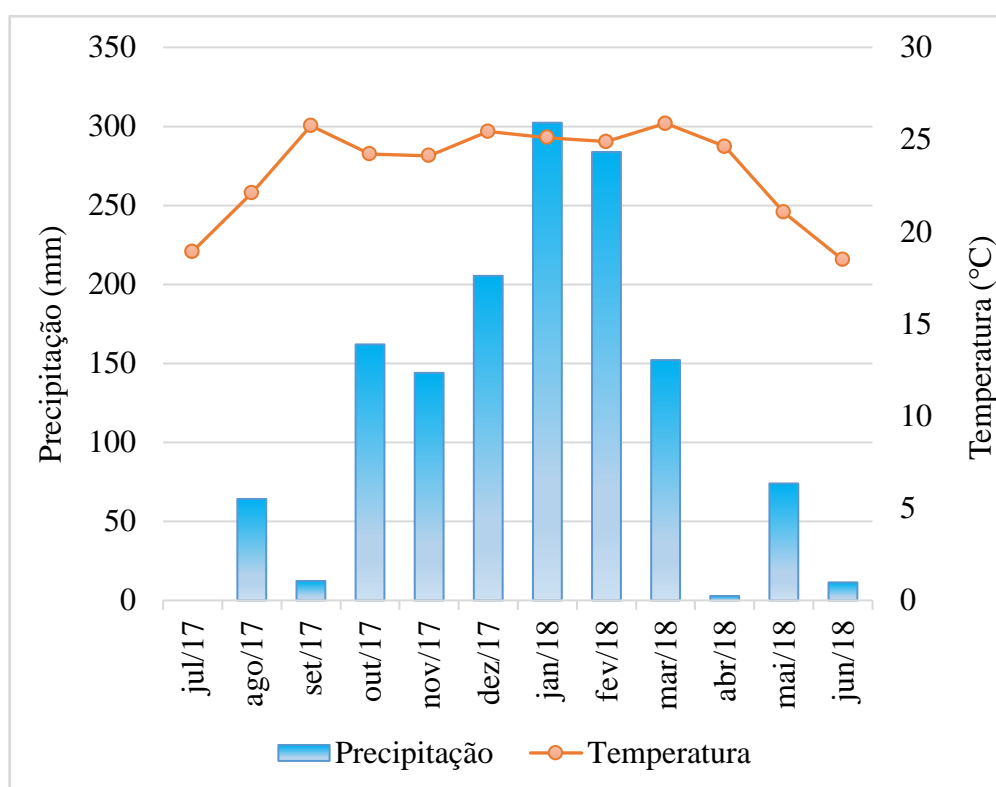


FIGURA 1. Precipitação pluvial e temperatura média no período experimental.

Fonte: Estação Agrometeorológica Embrapa Agropecuária Oeste.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), de textura predominantemente arenosa (80% areia, 17% argila e 3% silte) e apresentou as seguintes características químicas de acordo com o Quadro 1.

QUADRO 1. Resultado da análise química do solo realizada em pré-plantio, município de Vicentina, Mato Grosso do Sul

Prof (cm)	P --mg dm ⁻³ --	S-SO ₄ g dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K -----	Ca -----	Mg mmol _c dm ⁻³	SB -----	Al -----	CTC -----	V %
0-25	7,0	3,0	11,0	4,3	0,5	10	3,0	13,5	4,0	42,0	31

3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em esquema fatorial, com duas variedades de cana-de-açúcar, nove épocas de coleta (90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias após o plantio) e 4 repetições.

3.3. Variedades

- RB 92579

Lançada no mercado em 2003, a variedade RB92579 resultou de um cruzamento biparental entre as variedades RB75126 e RB72199. Possui ampla época de plantio (julho a janeiro), velocidade lenta de crescimento, alta produtividade nas quatro primeiras folhas, e altamente responsiva à irrigação. É tolerante à seca, herbicidas e à cigarrinha da folha. Apresenta resistência à ferrugem marrom e ao carvão, também possui resistência intermediária à escaldadura das folhas, à podridão vermelha e ausência de amarelinho (RIDESA, 2010).

- SP832847

A variedade SP832847 apresenta longevidade em ambientes restritivos, boa produção de colmos e brotação da soqueira. Caracteriza-se por ser uma variedade de maturação tardia, baixa exigência em fertilidade de solo, baixo teor sacarose, alto teor de fibra, perfilhamento, acamamento e isoporização intermediários (COPERSUCAR, 1999).

3.4. Instalação e condução da área experimental

O plantio das mudas foi realizado em 13 e 17 de julho de 2017, para RB 92579 e SP 832847 respectivamente.

Com base na interpretação da análise de solo e as recomendações técnicas para cultura, foram aplicados 2 t ha⁻¹ de calcário e 1 t ha⁻¹ de gesso 60 dias antes do

plantio. A adubação com NPK compreendeu duas etapas, sendo a primeira delas no plantio com 450 kg ha^{-1} da fórmula 04-30-10, e a segunda aos 100 dias após plantio (quebra-lombo) com 250 kg ha^{-1} da fórmula 20-00-20. A adubação com micronutrientes foi realizada em sulco de plantio, utilizando-se 1 kg ha^{-1} de boro e zinco.

No sulco de plantio também foram aplicados $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ de bioestimulante (Raynitro®) e $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de fertilizante organomineral (Nemus®). Para o controle de insetos foi feita aplicação de inseticida à base de fipronil ($250 \text{ g.p.c. ha}^{-1}$), e o manejo fitossanitário foi complementado com a aplicação de 500 mL ha^{-1} de fungicida à base de azoxistrobina+tebuconazol (Azimut®).

Cada unidade experimental foi constituída por 8 linhas de 50 metros de comprimento, espaçadas em 1,5 m. Para as avaliações foram consideradas as 6 linhas centrais, desprezando 1 metro em cada extremidade, perfazendo uma área útil de 432 m^2 .

3.5. Variáveis analisadas

3.5.1. Acúmulo de matéria seca: foram coletadas amostras da parte aérea, de 10 plantas sequenciais, aos 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 DAP. A cada coleta, as plantas foram divididas em folha (limbo), bainha e colmo, em seguida, as diversas partes das plantas foram lavadas, armazenadas em sacos de papel perfurado devidamente identificados e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C , por aproximadamente de 72 horas, até atingir massa constante. Posteriormente, mensurou-se a matéria seca da parte aérea e, por fim, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley.

3.5.2. Marcha de absorção de nutrientes: os teores de N, P, K, Ca, Mg e S do tecido vegetal, em cada parte da planta, foram determinados de acordo com os procedimentos propostos por Malavolta et al. (1997). Para a determinação do nitrogênio os materiais foram submetidos à digestão sulfúrica, sendo que os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método de Kjeldahl. Do extrato proveniente da digestão nitroperclórica, foram determinados os teores de fósforo por colorimetria, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, potássio por fotometria de chama e enxofre por turbidimetria.

O ajuste para a produção de matéria seca e o acúmulo dos nutrientes em cada estrutura, em função dos dias após o plantio, foi realizado por meio de ajustes de modelos

de regressão, utilizando-se o modelo Gaussiano com três parâmetros (Equação 1), conforme descrito por Zobiole et al. (2010).

$$\hat{y} = a e^{\left[-0,5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right]} \quad (1)$$

A equação é dada por: y = acúmulo de nutrientes; a = valor de máximo acúmulo; x_0 = valor de x , em DAP, que proporciona o máximo em y ; e b = amplitude no valor de x , em DAP, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo. Determinou-se também o valor do ponto de inflexão (PI) da curva de acordo com a Equação 2:

$$PI = x_0 - b \quad (2)$$

O PI corresponde ao valor de x em que a curvatura do modelo ajustado muda de sinal; na prática, isso corresponde ao valor de x , em DAP, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer.

3.5.3. Avaliação do estado nutricional: o estado nutricional das plantas foi determinado aos 180 DAP (6º mês de cultivo), por meio da coleta de dez folhas (folha + 3) em cada unidade experimental. Para tal determinação utilizou-se os 20 cm da área central do limbo foliar, excluindo a nervura central, conforme recomendado por Raij (2011).

3.5.4. Produtividade de colmos: aos 330 DAP a produtividade foi estimada de acordo com método desenvolvido pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Para isto foram selecionados 10 metros lineares, em uma linha de plantio dentro da área útil da parcela, nos quais foram determinados o número total de colmos e, posteriormente, retirados e pesados 5 colmos. A partir do espaçamento entre linhas, e dos dados mensurados anteriormente, estimou-se a produtividade em cada ponto, conforme a equação 3:

$$TCH = NCm \times NT \times \left(\frac{MMC}{1000}\right) \quad (3)$$

Onde:

TCH: produtividade de cana ($t\ ha^{-1}$)

NCm: número médio de colmos por metro

NT= número total de metros em um hectare ($10000/\text{espaçamento entre linhas}$, que neste caso corresponde a 1,5m)

MMC: massa média dos colmos (kg)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de matéria seca nas plantas foi lento até 120 dias após plantio (DAP) (Figuras 2a e b). A folha foi o principal órgão responsável por esse acúmulo, contribuindo com 73 e 60% para as variedades RB92579 E SP832847, respectivamente (Figuras 2c e d).

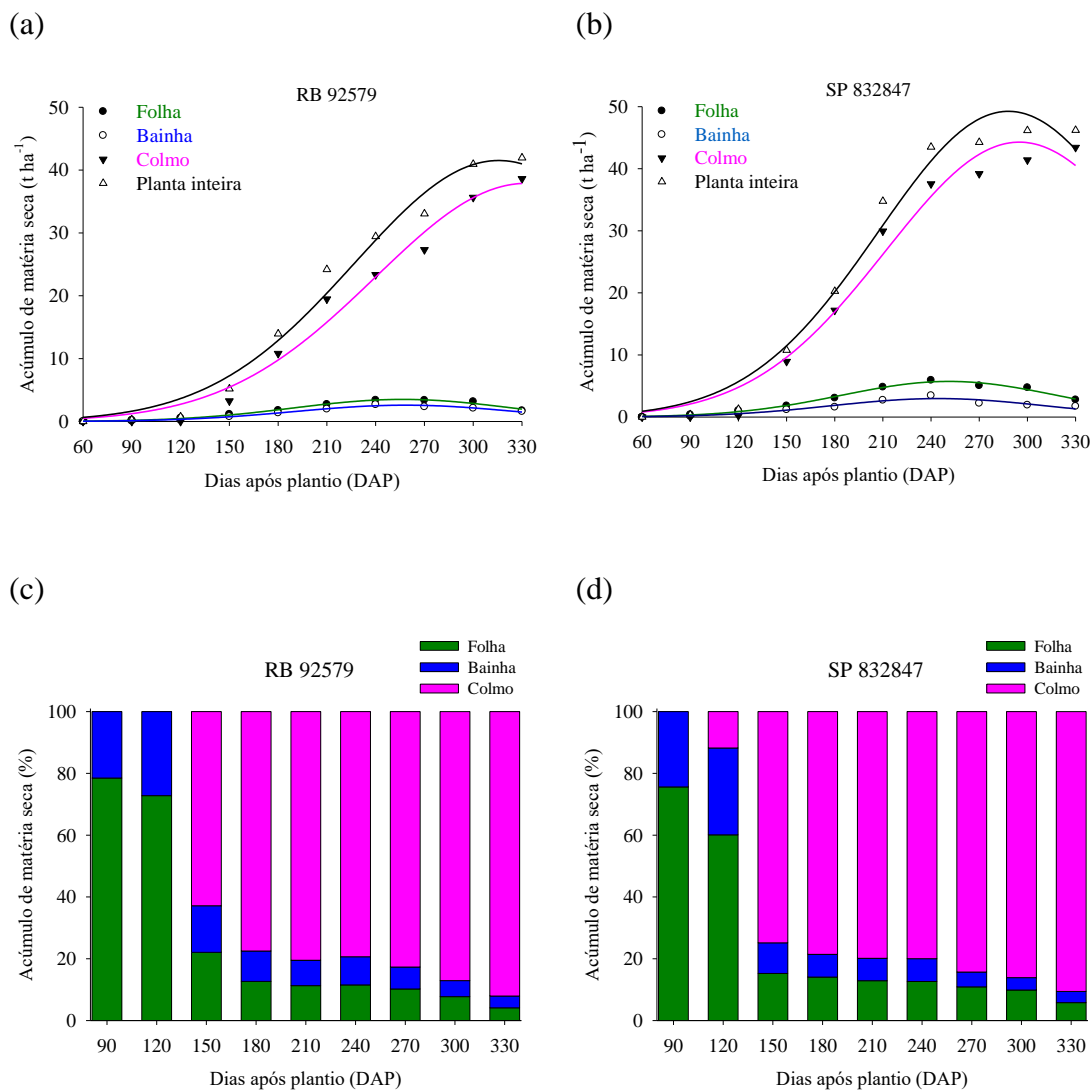


FIGURA 2. Produção de matéria seca na parte aérea de variedades de cana-de-açúcar RB92579 (a e c) e SP832847 (b e d) em função dos dias após plantio.

Em ambas variedades há maior proporção de folha e bainha em relação ao colmo até 120 DAP, contudo a maior proporção na RB92579, correlaciona-se ao estágio de desenvolvimento da cultura, cujas plantas ainda encontravam-se em período de

brotação, caracterizado pela intensa emissão de folhas, ao passo que as plantas da variedade SP832847 já haviam emitido os primeiros perfilhos.

Resultados semelhantes foram observados por Salviano et al. (2017), em que a matéria seca produzida nas folhas foi superior à do colmo até os 133 DAP. Segundo Silva et al. (2014), inicialmente os fotoassimilados são destinados às folhas verdes, bainhas e pseudocolmos, posteriormente estes são direcionados prioritariamente para os colmos. Assim, pode-se inferir que o maior investimento inicial na produção de biomassa das folhas deve-se à necessidade de formação do aparato fotossintético da planta, indispensável para captação da energia solar e conversão desta em produtos para seu metabolismo.

O máximo acúmulo de matéria seca nas folhas e bainhas foi constatado aos 257 e 251 DAP nas folhas e aos 258 e 244 DAP nas bainhas, para RB92579 e SP832847 respectivamente (Quadro 2). Oliveira et al. (2010), ao avaliar o acúmulo de matéria seca por 11 variedades de cana-de-açúcar em Pernambuco, relataram desempenho semelhante, em que o máximo acumulado nessas estruturas ocorreu por volta de 240 DAP. Uma possível explicação para o resultado observado pode estar associada ao máximo de índice de área foliar atingido neste período (DE SILVA e DE COSTA, 2012), contribuindo para a máxima produção de matéria seca nas folhas, haja visto que a produção de biomassa correlaciona-se à área foliar da cultura (OLIVEIRA et al., 2007b), comumente expressa em função do índice de área foliar.

A partir de 150 DAP verificou-se redução progressiva na participação de folha e bainha na matéria seca total e, em contrapartida, aumento da contribuição do colmo (Figura 2c e d). Ao final do experimento, a massa seca de folha+bainha foi de 6,1 t ha⁻¹ (RB92579) e 8,7 t ha⁻¹ (SP832847), correspondendo, respectivamente, a apenas 15% e 18% da matéria seca da parte área. Tais resultados assemelham-se aos obtidos por Mariano et al. (2016), em que os autores também observaram que a participação da matéria seca de folha chegou a representar apenas 15% da matéria seca total ao final do ciclo produtivo. Isso se deve, principalmente, ao início do perfilhamento, onde os colmos passam a contribuir de maneira mais expressiva para a produção de matéria seca, pois passam a receber parte do fotoassimilado produzido, tornando-se posteriormente o dreno preferencial deste (WANG et al., 2013).

QUADRO 2. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de matéria seca em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar (variedades RB 92579 e SP 832847) em função dos dias após o plantio, Vicentina - MS, 2018

Matéria seca	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ - b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	t ha ⁻¹	Dias Após Plantio			
RB 92579					
Folha	3,51	257	68	189	0,98**
Bainha	2,59	258	69	189	0,98**
Colmo	37,91	333	93	240	0,97**
Planta inteira	41,53	316	89	227	0,97**
SP 832847					
Folha	5,74	251	67	184	0,98**
Bainha	2,97	244	67	177	0,90**
Colmo	44,28	295	83	212	0,97**
Planta inteira	49,25	288	81	207	0,97**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAP, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAP, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAP, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

O perfilhamento iniciou-se aos 120 DAP para a variedade SP832847, enquanto que para a RB92579 os primeiros perfilhos foram observados somente aos 150 DAP. Estes resultados diferem daqueles encontrados por Almeida et al. (2008) e Costa et al. (2016), em que o máximo perfilhamento ocorreu aos 120 e 150 DAP respectivamente. Entre os fatores que contribuíram para o resultado observado pode-se destacar as condições climáticas restritivas durante os três primeiros meses de cultivo (Figura 1), principalmente em relação à precipitação pluvial, que podem ter comprometido a absorção de nutrientes e os processos de divisão e diferenciação celular, ocasionando atraso no perfilhamento.

A partir de 150 DAP, observou-se que a participação do colmo na matéria seca total permanece crescente e expressiva até o final do ciclo da cultura, sendo o

acúmulo máximo nesse órgão observado aos 333 e 295 DAP para RB92579 e SP832847 respectivamente.

O máximo acúmulo de matéria seca na planta inteira foi atingido aos 316 DAP para RB92579 e 288 DAP para SP832847, com valores de 41,53 e 49,25 t ha⁻¹, respectivamente (Quadro 2). A maior produção de matéria seca observada na variedade SP832847 se deve, principalmente, ao maior acúmulo de nutrientes pela mesma, entre os quais se destaca o potássio (Quadro 8). Sabe-se que este elemento representa cerca de 6% da matéria seca total das plantas (ALEMÁN et al., 2011) e atua na regulação da abertura e fechamento estomático, proporcionando uma maior taxa fotossintética (CAVALCANTE et al., 2015) e conseqüentemente um maior acúmulo de matéria seca na parte aérea.

De maneira geral, o acúmulo de matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar apontou para existência de três fases de crescimento distintas. A primeira, até 120 DAP, apresentou pequeno acúmulo, o que pode ser atribuído as características morfológicas do dossel da planta ainda insuficientes para interceptação da radiação solar, às condições climáticas pouco favoráveis ao crescimento vegetativo (Figura 1) e ao baixo fornecimento inicial de N. Vale ressaltar que a adubação de cobertura foi realizada aos 100 DAP e que a textura do solo é arenosa, a qual contribui para a baixa capacidade de retenção de água no mesmo.

A segunda fase, compreendeu o intervalo entre 120 e 270 DAP para RB92579, e entre 120 e 240 DAP para SP832847. Esse período caracterizou-se pela incidência de chuvas e altas temperaturas, proporcionando o rápido crescimento vegetativo e acúmulo de matéria seca, onde as plantas atingiram mais de 80% da fitomassa da parte aérea. Segundo De Silva e De Costa (2012), esse crescimento pronunciado correlaciona-se à fase de alongamento do colmo e coincide com o máximo de índice de área foliar.

A terceira e última fase, entre 270 e 330 DAP para RB 92579 e 240 a 330 DAP para SP832847, está relacionada ao período de maturação e acúmulo de sacarose no colmo (McCORMICK et al., 2008; 2009), a qual caracterizou-se pelo baixo incremento na produção de matéria seca e início dos processos de senescência foliar.

O ponto de inflexão foi estimado aos 227 e 207 DAP para RB92579 e SP832847 respectivamente, o que em termos práticos significa que a taxa de produção de

matéria seca ainda que positiva passa a decrescer após esse período (Quadro 2). Diante do exposto, sugere-se que a taxa de crescimento da parte aérea de ambas variedades foi máxima no período compreendido entre o 7º e o 8º mês de cultivo. Ainda de acordo com o Quadro 2, notou-se que os modelos ajustados para a produção de matéria seca apresentaram um bom ajuste, com altos valores do coeficiente de determinação (R^2).

O estado nutricional do canavial (Quadro 3) revela que as plantas encontravam-se bem nutridas, haja visto que os teores médios de nutrientes na folha+3 estão de acordo com a faixa adequada de valores estabelecidos para a cultura segundo Raij et al. (1996).

QUADRO 3. Teores de macronutrientes na folha+3 em variedades de cana-de-açúcar cultivadas no município de Vicentina, Mato Grosso do Sul (2018)

Variedade	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
RB 92579	19,60	2,37	10,42	3,10	1,50	1,34
SP 832847	18,85	3,00	16,12	4,30	2,22	2,20

Os teores de N nas variedades mostraram-se elevados no início do período de avaliação e diminuíram ao longo do desenvolvimento da planta (Quadro 4 e 5). Na variedade RB92579, folhas e bainhas inicialmente apresentaram os respectivos teores de N de 21,35 e 7,70 g kg⁻¹ e ao final esses teores foram de 7,00 e 3,50 g kg⁻¹ de N (Quadro 4). Para a SP832847, esses valores passaram de 17,15 e 11,90 g kg⁻¹ para 6,65 e 3,85 g kg⁻¹ de N (Quadro 5).

A queda nos teores de N nas folhas inicialmente pode estar relacionada ao efeito de diluição, bem como à posterior translocação deste elemento para a formação do colmo (OLIVEIRA et al., 2013a), evidenciando a mobilidade do nitrogênio na planta, e sua participação na constituição de novos órgãos por meio da divisão celular e constituição de tecidos. Todavia, esta queda foi gradual, o que pode ser atribuído à função do N na planta pois, como mencionado anteriormente, a cana-de-açúcar é uma espécie de metabolismo C₄, que imobiliza parte do N total contido nos tecidos foliares para formação da rubisco (MARSCHNER, 2012), funcionando como uma reserva de N solúvel para manutenção do aparato fotossintético.

QUADRO 4. Teores médios de N, P e K nas diferentes estruturas da parte aérea de cana-de-açúcar (variedade RB 92579), em função dos dias após plantio

DAP	Folha	Bainha	Colmo	Planta inteira
	----- g kg ⁻¹ -----			
Nitrogênio				
90	21,35	7,70	---	18,41
120	19,95	7,35	---	16,52
150	17,50	4,90	16,10	14,71
180	12,60	4,90	5,60	6,41
210	12,60	4,90	5,60	6,33
240	11,55	4,20	5,25	5,88
270	10,85	4,20	5,25	5,74
300	9,10	4,20	5,25	5,49
330	7,00	3,50	5,10	5,11
Fósforo				
90	2,63	1,56	---	2,40
120	2,55	1,27	---	2,20
150	2,46	1,07	2,71	2,41
180	1,87	0,91	1,28	1,32
210	1,85	0,83	0,89	0,99
240	1,78	0,69	0,85	0,94
270	1,68	0,53	0,79	0,87
300	1,62	0,44	0,68	0,74
330	1,49	0,36	0,65	0,67
Potássio				
90	17,11	16,91	---	17,07
120	16,74	16,00	---	16,54
150	16,49	15,25	12,15	13,58
180	14,76	13,89	11,08	11,82
210	13,93	10,79	8,02	8,92
240	12,90	10,38	7,70	8,54
270	12,03	9,92	7,08	7,79
300	11,91	9,06	5,96	6,58
330	10,71	8,68	5,76	6,07

QUADRO 5. Teores médios de N, P e K nas diferentes estruturas da parte aérea de cana-de-açúcar (variedade SP 832847), em função dos dias após plantio

DAP	Folha	Bainha	Colmo	Planta inteira
	g kg ⁻¹			
Nitrogênio				
90	17,15	11,90	---	15,87
120	14,70	7,70	21,70	13,30
150	14,00	7,00	13,65	11,60
180	12,95	6,65	9,80	8,85
210	12,60	5,95	7,35	7,44
240	9,80	4,90	6,60	6,95
270	9,45	4,20	6,45	6,10
300	8,40	4,20	6,29	5,67
330	6,65	3,85	6,10	5,25
Fósforo				
90	3,27	2,58	---	3,10
120	2,64	1,14	3,72	2,30
150	2,20	1,04	1,29	1,25
180	1,92	0,93	1,28	1,19
210	1,70	0,66	0,96	0,97
240	1,64	0,59	0,94	1,01
270	1,39	0,38	0,91	0,86
300	1,30	0,22	0,88	0,79
330	1,16	0,18	0,86	0,74
Potássio				
90	15,67	14,35	---	15,35
120	14,51	13,15	15,05	13,92
150	14,31	12,94	13,07	11,77
180	14,01	11,17	11,65	10,56
210	13,89	11,08	10,21	10,09
240	12,69	10,09	9,70	10,21
270	11,21	8,35	9,46	8,78
300	9,02	7,16	9,24	8,07
330	8,35	7,11	8,92	7,65

O acúmulo de N foi pouco expressivo até os 120 DAP (Figuras 3a e b), acentuando-se a partir desse período, sendo a folha o principal órgão responsável pelo aporte do nutriente no dado momento (Figuras 3c e d).

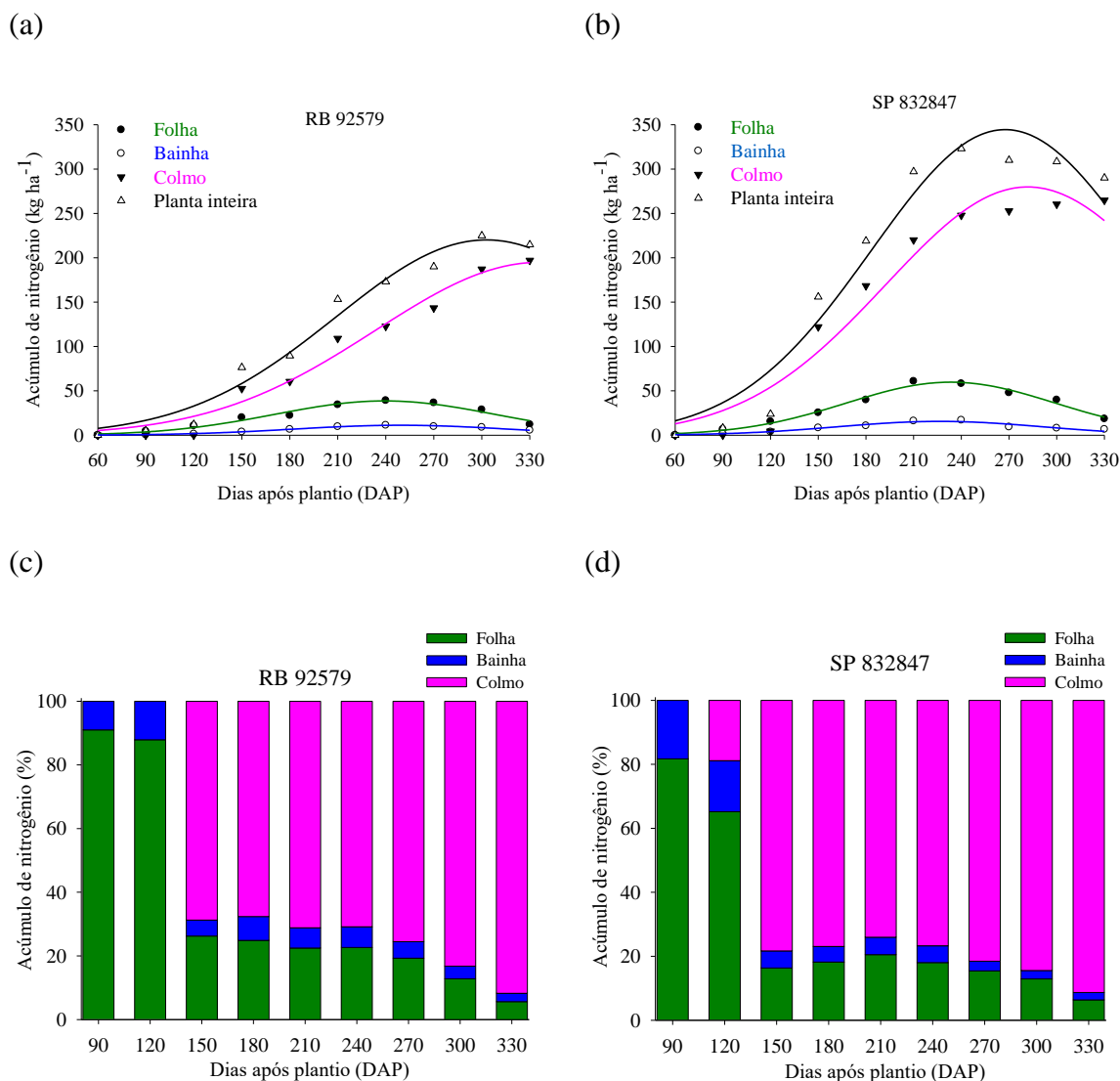


FIGURA 3. Acúmulo de nitrogênio na parte aérea de variedades de cana-de-açúcar RB 92579 (a e c) e SP 832847 (b e d) em função dos dias após plantio.

O máximo de acúmulo de N nas folhas ocorreu aos 239 e 233 DAP para RB92579 e SP832847 respectivamente (Quadro 6). Nessa fase, as plantas encontravam-se no estágio de máximo crescimento, que compreende o alongamento do colmo, o qual é caracterizado por intensa atividade metabólica e é o momento em que atinge-se o máximo de índice de área foliar (DE SILVA e DE COSTA, 2012).

Na bainha observou-se comportamento semelhante ao das folhas, no entanto a participação deste órgão se deu em menor magnitude quando comparado à folha

(Figuras 3c e d), com o máximo acúmulo de N nessa estrutura observado aos 249 DAP para RB92579 e aos 227 DAP para SP832847.

QUADRO 6. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de nitrogênio em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar (variedades RB 92579 e SP 832847) em função dos dias após o plantio, Vicentina – MS, 2018

Nitrogênio	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ – b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Plantio			
RB 92579					
Folha	38,55	239	69	170	0,93**
Bainha	11,19	249	68	181	0,99**
Colmo	195,37	338	104	234	0,96**
Planta inteira	219,97	304	95	209	0,96**
SP 832847					
Folha	59,78	233	66	167	0,98**
Bainha	15,56	227	65	162	0,90**
Colmo	279,83	282	89	193	0,93**
Planta inteira	344,46	268	84	184	0,94**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAP, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAP, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAP, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

A translocação de N das folhas e bainhas para o colmo fica evidente a partir dos 150 DAP (Figuras 3c e d), devido ao maior acúmulo de N no colmo em detrimento às folhas e bainhas. Este comportamento é explicado pela função desempenhada por este nutriente nos processos de divisão e diferenciação celular (MARSCHNER, 2012), sendo prioritariamente direcionado para a formação dos perfilhos.

Posteriormente, durante o alongamento do colmo, o N assume uma função primordial na multiplicação celular (LUO et al., 2017), cujas células dos entrenós irão funcionar como depósito de sacarose no colmo, implicando no máximo acúmulo de N em períodos mais tardios. Sabe-se que o N é constituinte de aminoácidos, entre os quais destaca-se o triptofano como precursor de auxinas, além disso os transportadores de

nitrato também são capazes de transportar auxinas (KROUK, 2016), as quais são responsáveis pelo crescimento das plantas, atuando principalmente nos mecanismos de expansão celular (TAIZ e ZEIGER, 2013), promovendo a dominância apical.

As maiores diferenças na marcha de absorção de N foram observadas no colmo, no qual o máximo acúmulo deu-se por volta de 338 DAP para a variedade RB92579 com o valor de 195 kg ha⁻¹, enquanto que para SP832847 a máxima absorção de N ocorreu aos 282 DAP com o valor de 280 kg ha⁻¹ (Quadro 6). Notou-se que a variedade SP 832847, além de acumular maior quantidade de N, demonstrou acumular o nutriente em períodos anteriores à RB92579, sendo tal resultado provavelmente relacionado à adaptabilidade da primeira à ambientes de produção mais limitantes em termos de fertilidade do solo, fato este que, em contrapartida, pode ter comprometido a expressão do máximo potencial da segunda, visto que em trabalhos como os de Oliveira et al. (2011) e Salviano et al. (2017) esta variedade acumulou quantidades superiores à encontrada neste estudo.

Observou-se que a quantidade de N acumulada na planta inteira foi superior àquela incorporada ao solo via fertilizantes, alcançando valores de 219 e 344 kg ha⁻¹, para RB92579 e SP832847 respectivamente (Quadro 6). Oliveira et al. (2010) e Salviano et al. (2017) também relataram valores de acúmulo superiores à quantidade de N adicionada via adubação o que, de acordo com Trivelin (2000), deve-se à aquisição do N por outras fontes como: matéria orgânica, fixação de N atmosférico por microrganismos, absorção de NH₃⁺ da atmosfera e absorção do NO₃⁻ pelas raízes mais profundas.

Em relação ao P, houve decréscimo nos teores nas folhas e bainhas com o início do perfilhamento (Quadros 4 e 5), de modo que os colmos tornaram-se o dreno preferencial de P (Figura 4c e d). Lopes e Lima (2015) explicam que, inicialmente, os drenos preferencias são raízes e folhas, mas com o passar do tempo, ocorre mudança do depósito metabólico preferencial para o colmo, de maneira acentuada e definitiva.

As curvas de acúmulo (Figuras 4a e b) mostram que a variedade RB92579 apresentou menor acúmulo de P, em relação à SP 832847 em todas as estruturas avaliadas, em que a quantidade máxima acumulada de 31,2 kg ha⁻¹ (RB92579) e 48,4 kg ha⁻¹ (SP832847) foi constatada na planta inteira aos 281 e 271 DAP, respectivamente (Quadro 7). Oliveira et al. (2011), em estudos com a variedade RB92579, observaram resultado semelhante, sendo o máximo acúmulo da ordem de 29 kg ha⁻¹.

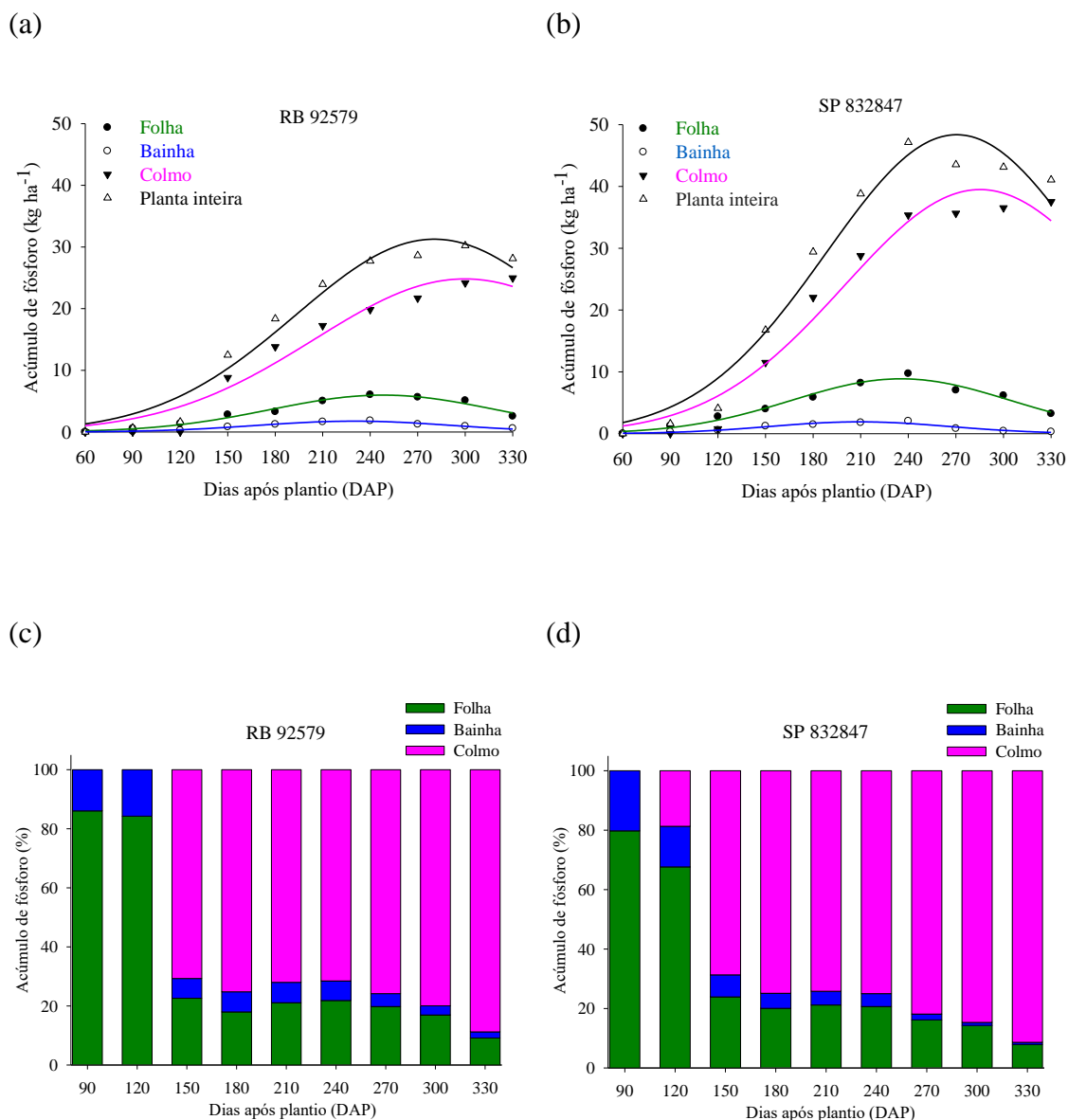


FIGURA 4. Acúmulo de fósforo na parte aérea de variedades de cana-de-açúcar RB 92579 (a e c) e SP 832847 (b e d) em função dos dias após plantio.

Nas folhas, o pico de acúmulo de P se deu por volta dos 248 e 235 DAP para RB92579 e SP832847 respectivamente (Quadro 7). Da mesma forma que para o N, o pico de acúmulo de P na variedade SP832847 foi relatado mais cedo, bem como a quantidade máxima acumulada do nutriente nas folhas mostrou-se superior ao da variedade RB92579.

QUADRO 7. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de fósforo em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar (variedades RB 92579 e SP 832847) em função dos dias após o plantio, Vicentina – MS, 2018

Fósforo	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ – b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Plantio			
RB 92579					
Folha	5,97	248	72	176	0,95**
Bainha	1,75	230	62	168	0,97**
Colmo	24,80	301	96	205	0,93**
Planta inteira	31,20	281	88	193	0,95**
SP 82847					
Folha	8,87	235	69	166	0,96**
Bainha	1,91	209	57	152	0,91**
Colmo	39,49	285	86	199	0,96**
Planta inteira	48,37	271	82	189	0,96**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAP, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAP, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAP, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

Para o colmo, as quantidades máximas acumuladas de 24,8 kg ha⁻¹ (RB92579) e 39,5 kg ha⁻¹ (SP832847), ocorreram aos respectivos 301 e 285 DAP, uma vez que o acúmulo nesse órgão ocorre em períodos mais tardios em relação às folhas e bainhas (Quadro 7).

A maior demanda por P nos colmos, no dado momento, coincidiu com o início do período de maturação, e pode estar associada à participação de P em dois processos chave da qualidade tecnológica da cana. O primeiro deles refere-se à síntese e transporte de sacarose, pois ambas reações envolvem gasto energético, sendo essa energia proveniente da hidrólise da molécula de ATP (TAIZ et al., 2015). O segundo relaciona-se à necessidade de P em uma das etapas da clarificação do caldo, na qual a molécula de fosfato reage com hidróxido de Ca, resultando na formação do fosfato tricálcico, que ao flocular e sedimentar, realiza o arraste de impurezas, promovendo a clarificação do caldo (KÖRNDORFER, 2004).

De acordo com o Quadro 7, o ponto de inflexão no colmo foi estimado por volta de 200 DAP para ambas variedades, indicando que a taxa de absorção de P é mais pronunciada neste período. Nesse momento as plantas encontravam-se na fase de alongamento do colmo, a qual é controlada principalmente pelo ácido giberélico, que possui fósforo na composição dos precursores dessa molécula (RODRIGUES, 2010), justificando assim a maior demanda por P nessa fase.

O K foi o nutriente mais acumulado e exportado pelas variedades (Quadro 8), cujos teores foram elevados no início do período de avaliação e decresceram com o avanço deste (Quadros 4 e 5).

QUADRO 8. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de potássio em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar (variedades RB 92579 e SP 832847) em função dos dias após o plantio, Vicentina – MS, 2018

Potássio	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ – b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Plantio			
RB 92579					
Folha	44,01	247	70	177	0,97**
Bainha	26,39	245	71	174	0,96**
Colmo	222,50	297	88	209	0,93**
Planta inteira	283,57	281	83	198	0,95**
SP 832847					
Folha	71,60	236	62	174	0,98**
Bainha	30,41	229	61	168	0,88**
Colmo	411,30	286	84	202	0,96**
Planta inteira	494,93	272	80	192	0,96**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAP, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAP, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAP, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer.** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

As folhas e bainhas foram os principais órgãos de acúmulo de K até os 120 DAP, a partir deste período os colmos tornam-se o principal dreno (Figura 5c e d),

fazendo com que a colheita seja responsável pela exportação de, aproximadamente, 80% da quantidade acumulada (Quadro 8).

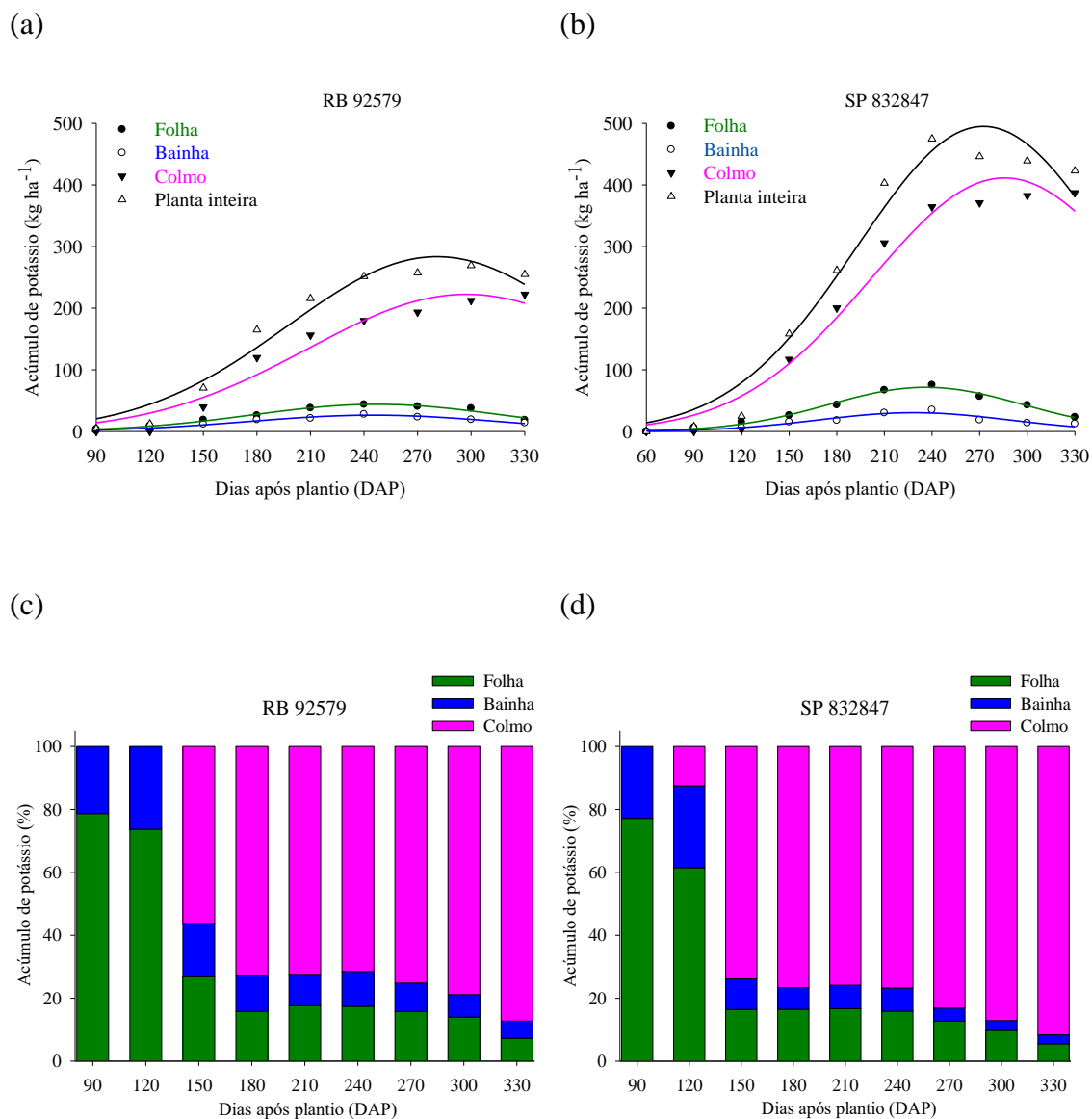


FIGURA 5. Acúmulo de potássio na parte aérea de variedades de cana-de-açúcar RB 92579 (a e c) e SP 832847 (b e d) em função dos dias após plantio.

A diminuição na contribuição folhas e bainhas para o acúmulo de K, a partir de 150 DAP, coincide com o aumento da contribuição dos colmos (Figura 5c e d), implicando na participação do K em processos que intensificam-se no dado período, tais como ativação enzimática (AMTMANN e ARMENGAUD, 2009), estímulo ao

crescimento dos tecidos meristemáticos (VEIGA et al., 2010), translocação e redistribuição de metabólitos (KARLEY e WHITE, 2009).

As folhas alcançaram os valores de máximo acúmulo aos 247 e 236 DAP para RB92579 e SP832847 respectivamente, sendo que nesse período, para ambas variedades, essas estruturas contribuíram com aproximadamente 15% do montante acumulado de K na planta inteira (Quadro 8).

Nos colmos notou-se que o acúmulo também foi mais pronunciado na variedade SP832847, por outro lado, a diferença (número de dias) para atingir o pico de acúmulo entre as variedades não pode ser considerada expressiva. O contraste observado entre as quantidades acumuladas, pode estar relacionado à eficiência de absorção e redistribuição do K na planta, associada principalmente à fatores inerentes à capacidade de translocação dentro das organelas de cada genótipo (RENGEL e DAMON, 2008).

Em ambos os casos, o máximo acúmulo de K nos colmos coincidiu com período de maturação e, conseqüentemente, acúmulo de sacarose. Cabe lembrar que este nutriente participa do processo de metabolismo de carboidratos e transporte de açúcares, de modo que para o último processo, o K é essencial para o aumento do potencial osmótico das células (OSAKABE et al., 2013), estímulo ao complexo Mg-ATP (CAKMAK e YAZICI, 2010) e a elevação do pH nos tubos crivosos (MARSCHNER, 2012), facilitando assim o carregamento e descarregamento de sacarose no floema.

O máximo acúmulo de K na planta inteira foi da ordem de 284 kg ha⁻¹ para RB92579 e 495 kg ha⁻¹ para SP832847 (Quadro 8). Embora as quantidades extraídas tenham sido superiores às fornecidas pela adubação potássica, vários estudos apontam para a contribuição expressiva de formas não-trocáveis de potássio no que se refere ao suprimento desse elemento às plantas (KAMINSKI et al., 2010; ÖBORN et al., 2010; VIEIRA et al., 2016; VIEIRA et al., 2017).

O Ca foi o terceiro nutriente mais acumulado por ambas variedades, ficando atrás somente de K e N. As folhas e bainhas, quando comparadas ao colmo, apresentaram maiores teores de Ca (Quadros 9 e 10), evidenciando a baixa mobilidade deste elemento na planta (FAGERIA, 2009). Isso se deve ao papel estrutural desempenhado pelo cálcio nas células vegetais, pois o mesmo é essencial na manutenção da integridade de membranas e paredes celulares, onde ao ligar-se à pectina da parede celular, forma

pectatos de Ca que fazem parte da lamela média e “cimentam” uma célula a outra (HEPLER e WINSHIP, 2010; PROSEUS e BOYER, 2012; PEAUCELLE et al., 2012).

QUADRO 9. Teores médios de Ca, Mg e S nas diferentes estruturas da parte aérea de cana-de-açúcar (variedade RB 92579), em função dos dias após plantio

DAP	Folha	Bainha	Colmo	Planta inteira
	----- g kg ⁻¹ -----			
Cálcio				
90	4,92	3,20	---	4,55
120	4,86	3,17	---	4,40
150	3,83	3,15	2,70	3,02
180	3,51	2,80	1,94	2,22
210	3,26	2,77	1,75	2,00
240	3,19	2,56	1,66	1,91
270	3,13	2,54	1,57	1,80
300	2,82	2,51	1,32	1,50
330	2,62	2,17	1,26	1,35
Magnésio				
90	1,51	2,37	---	1,69
120	1,51	1,76	---	1,57
150	1,32	1,74	2,19	1,93
180	1,25	1,71	1,45	1,45
210	1,23	1,68	1,15	1,20
240	1,19	1,50	1,02	1,08
270	1,14	1,38	0,93	0,99
300	0,94	1,30	0,86	0,89
330	0,91	1,16	0,69	0,71
Enxofre				
90	2,41	3,98	---	2,75
120	2,03	3,93	---	2,55
150	1,72	3,42	3,16	2,88
180	1,40	2,98	1,53	1,66
210	1,40	2,48	1,50	1,56
240	1,38	2,39	1,47	1,54
270	1,32	2,13	1,38	1,43
300	1,33	1,61	0,97	1,03
330	1,14	1,17	0,20	0,27

QUADRO 10. Teores médios de Ca, Mg e S nas diferentes estruturas da parte aérea de cana-de-açúcar (variedade SP 832847), em função dos dias após plantio

DAP	Folha	Bainha	Colmo	Planta inteira
	----- g kg ⁻¹ -----			
Cálcio				
90	4,39	2,66	---	5,25
120	4,19	2,63	4,11	5,21
150	4,10	2,55	1,83	2,49
180	4,02	2,33	1,33	1,92
210	3,73	2,32	1,27	1,80
240	3,57	2,18	1,15	1,66
270	3,44	2,12	1,13	1,50
300	3,26	2,09	1,09	1,40
330	3,16	2,02	0,86	1,08
Magnésio				
90	2,19	2,12	---	2,87
120	2,03	2,05	2,10	2,84
150	1,97	1,99	1,81	2,06
180	1,97	1,81	1,10	1,37
210	1,94	1,67	0,87	1,15
240	1,92	1,62	0,85	1,12
270	1,82	1,58	0,76	0,96
300	1,77	1,58	0,72	0,90
330	1,59	1,48	0,65	0,76
Enxofre				
90	2,91	5,01	---	4,52
120	2,49	4,62	4,37	4,61
150	2,19	4,14	1,78	2,30
180	1,95	3,55	1,37	1,74
210	1,92	3,45	1,28	1,64
240	1,85	3,30	1,07	1,44
270	1,77	3,24	1,00	1,25
300	1,72	3,18	0,84	1,06
330	1,64	2,61	0,76	0,91

O máximo acúmulo de Ca na planta inteira foi da ordem de 64,3 kg ha⁻¹ (RB92579) e 73,5 kg ha⁻¹ (SP832847) (Figura 6, Quadro 11). Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2018), avaliando o acúmulo de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar, em que os autores relatam que para a variedade RB92579

são acumulados 60 kg ha^{-1} de Ca. Os autores também observaram que este nutriente foi o terceiro mais acumulado pela parte aérea das plantas, concordando com os resultados do presente estudo. O máximo acúmulo de Ca ocorreu aos 281 (RB92579) e 260 DAP (SP832847), contudo, vale ressaltar que seu fornecimento deve ser realizado no momento da correção do solo via calagem, visto que o mesmo apresenta baixa mobilidade na planta.

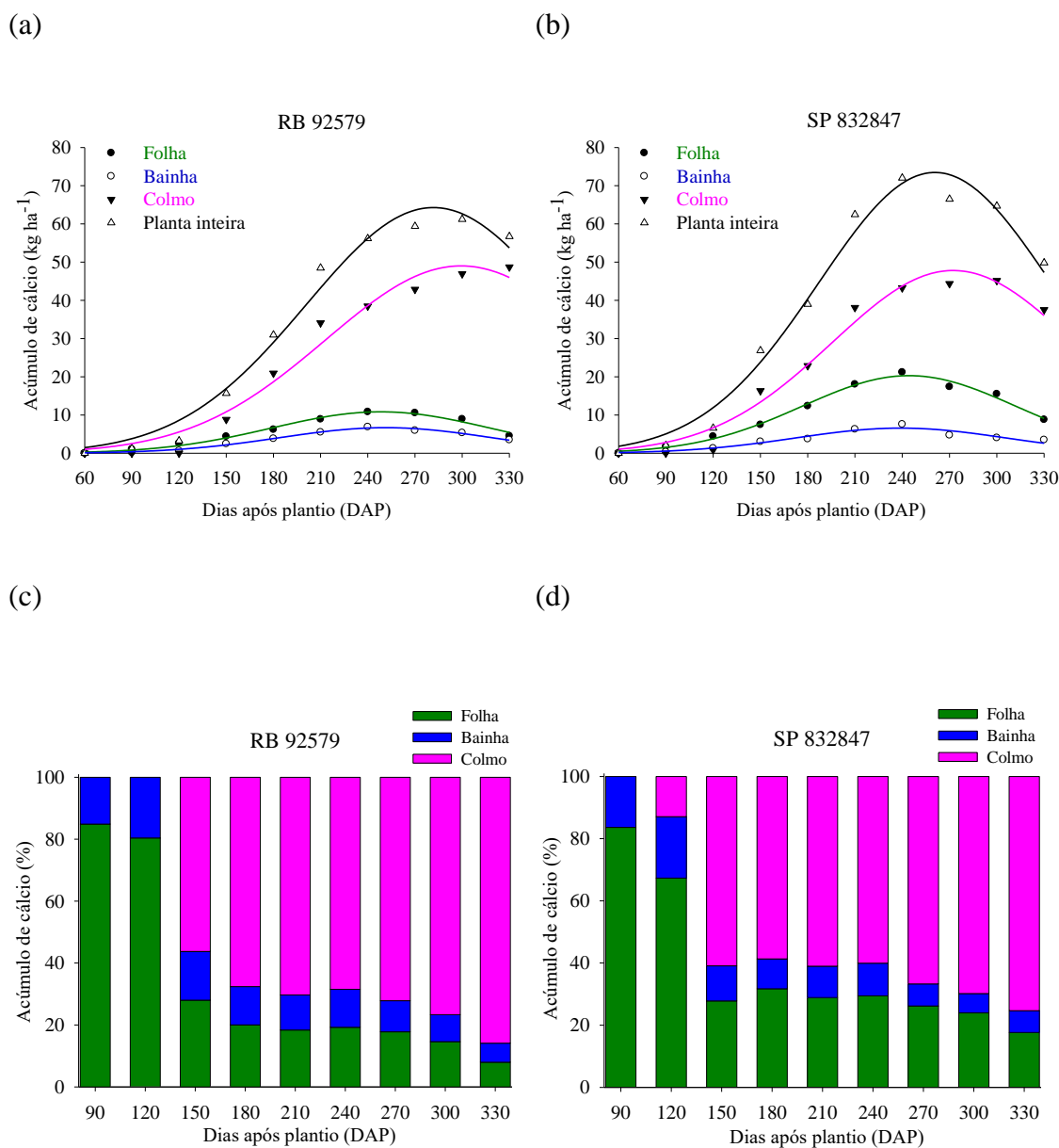


FIGURA 6. Acúmulo de cálcio na parte aérea de variedades de cana-de-açúcar RB 92579 (a e c) e SP 832847 (b e d) em função dos dias após plantio.

QUADRO 11. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de cálcio em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar (variedades RB 92579 e SP 832847) em função dos dias após o plantio, Vicentina – MS, 2018

Cálcio	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ – b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
RB 92579					
Folha	10,83	248	70	178	0,98**
Bainha	6,68	251	68	183	0,99**
Colmo	49,02	299	86	213	0,97**
Planta inteira	64,28	282	81	201	0,98**
SP 832847					
Folha	20,29	244	68	176	0,99**
Bainha	6,57	239	67	172	0,90**
Colmo	47,81	272	77	195	0,97**
Planta inteira	73,47	261	74	187	0,98**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAP, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAP, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAP, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

Conforme o Quadro 11, as folhas e bainhas apresentaram o máximo acúmulo de Ca em épocas muito próximas, sendo a diferença inferior a 5 dias. Em relação às quantidades acumuladas na bainha e no colmo, as variedades RB92579 e SP832847 mostraram semelhança entre si, com valores de 6,68 e 6,57 kg ha⁻¹ nas bainhas e 49,02 e 47,81 kg ha⁻¹ nos colmos.

O colmo foi o órgão que apresentou o maior acúmulo de Ca (Quadro 11), no qual o máximo acúmulo se deu no período de intenso crescimento da cultura, marcado pelo alongamento do colmo e conseguinte acúmulo de sacarose. Nota-se que também houve pouca variação nos teores de Ca nos colmos (Quadros 9 e 10), sendo esta estabilidade, provavelmente ligada às funções estruturais específicas que esse nutriente desempenha. Embora o Ca seja caracterizado como um nutriente de baixa mobilidade na planta, sugere-se que à medida que as plantas de cana-de-açúcar alongam seus colmos,

inúmeras células são formadas para a deposição de sacarose, as quais demandam Ca na constituição de sua parede celular, sendo os colmos os drenos principais do cálcio absorvido pelas plantas.

Quanto aos teores de Mg, observam-se variações discretas no início e ao final do ciclo, em que a maior concentração de magnésio ocorre no início e apresenta leve decréscimo até a última coleta (Quadros 9 e 10). A estrutura com maior teor do nutriente foi a folha, seguida pela bainha, visto que esta possui a maior reserva de clorofila dos tecidos vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2013) e, portanto, constitui-se no aparelho fotossintético das plantas.

Em geral, os teores de Mg nessas estruturas apresentaram pouca variação, o que se deve à constante demanda pelo mesmo durante a fotossíntese (TEKLIĆ et al., 2009), pois cerca de 2,7% do peso molecular da clorofila são representados por Mg, o qual concentra-se preferencialmente nos órgãos-fonte para a manutenção do aparelho fotossintético (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

A marcha de absorção de Mg (Figura 7) ocorreu de maneira similar nas folhas e bainhas para a variedade RB92579, já para a SP832847, o máximo acúmulo de Mg nas folhas foi duas vezes maior que nas bainhas (Quadro 12).

A maior parte do Mg absorvido foi direcionada aos colmos (Figura 7c e d) devido à sua alta mobilidade no floema, assim sua translocação dá-se facilmente das folhas velhas até os pontos de intensa atividade metabólica, como os caules jovens (FAGERIA, 2009).

No colmo, o acúmulo de Mg mostrou-se semelhante entre as variedades, no entanto, o tempo necessário para alcançar o máximo acúmulo nessa estrutura foi maior na variedade RB92579, totalizando diferença de 16 dias (Quadro 12). O máximo acúmulo nesse órgão ocorreu por volta dos 270 DAP, sugerindo que a grande necessidade de Mg no período final do ciclo da cultura pode estar relacionada à sua influência sobre o transporte de sacarose no floema (HERMANS et al., 2004; HERMANS et al., 2005; DING e XU, 2011). Cakmak e Yazici (2010) explicam que os íons Mg participam como ativadores enzimáticos durante a formação do complexo Mg-ATP, o qual é necessário para o funcionamento adequado da enzima H⁺-ATPase, que por sua vez é a fonte de energia para o carregamento e manutenção do transporte de sacarose.

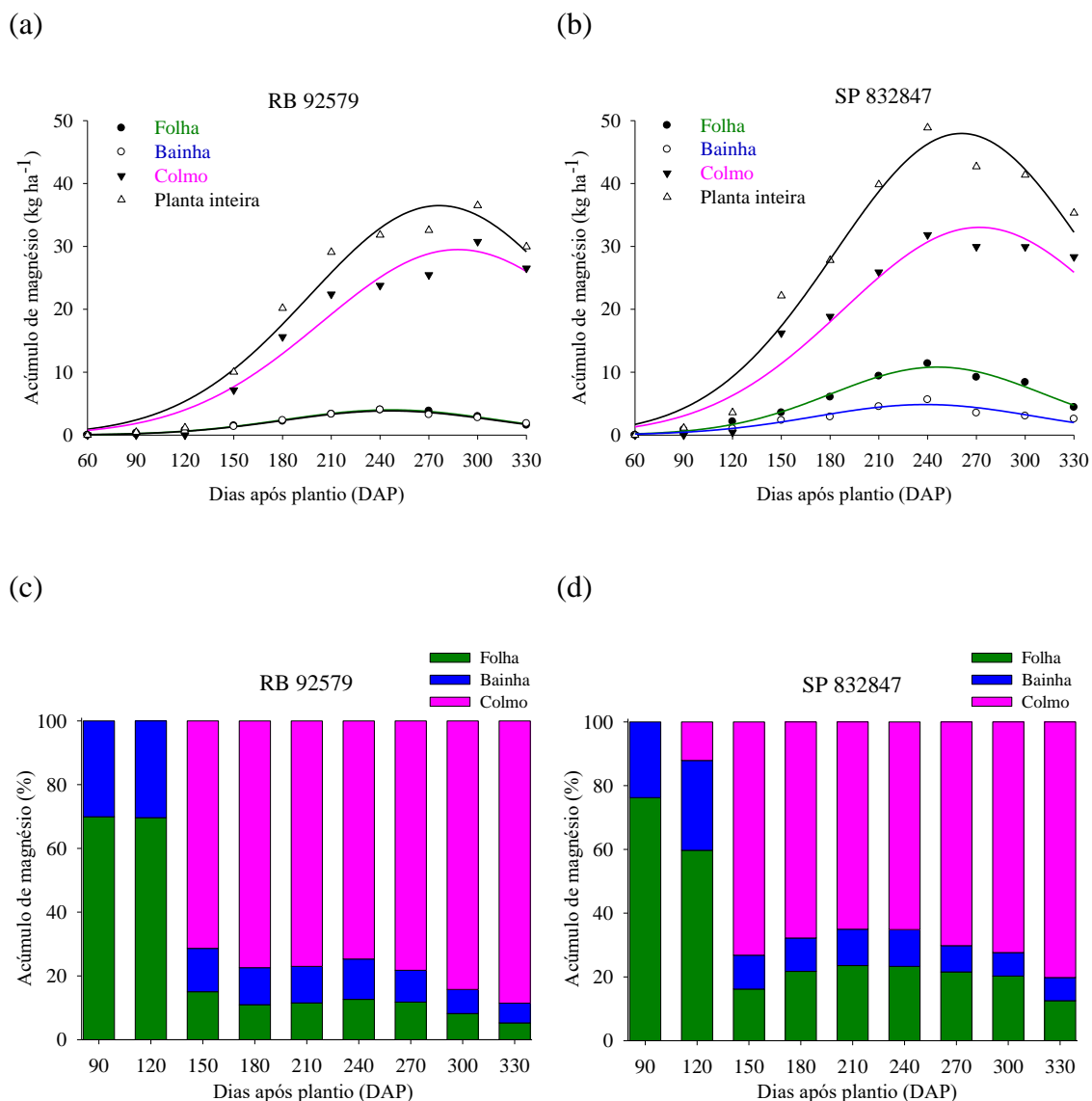


FIGURA 7. Acúmulo de magnésio na parte aérea de variedades de cana-de-açúcar RB 92579 (a e c) e SP 832847 (b e d) em função dos dias após plantio.

Estudos conduzidos por Hermans et al. (2005), avaliando o transporte de sacarose em beterraba açucareira, demonstraram que plantas deficientes em Mg exibiram aumento acentuado no acúmulo de sacarose e amido nas folhas em detrimento às raízes, evidenciando que a deficiência de Mg compromete o transporte de sacarose da fonte (folha) para o dreno (raiz tuberosa).

Considerando a planta inteira, o acúmulo de Mg foi da ordem de 36,5 kg ha⁻¹ para RB92579 e de 48 kg ha⁻¹ para SP832847 (Quadro 12), sendo estes resultados muito próximos daqueles obtidos por Vale (2009) em suas pesquisas com a variedade SP832847. Todavia, o máximo acúmulo de Mg na variedade RB92579 relatado por

Oliveira et al. (2010) e Oliveira et al. (2011) foi bem superior, alcançando 122 e 99 kg ha⁻¹ respectivamente. Isso pode estar relacionado ao manejo da irrigação adotado em ambos experimentos, o qual ao promover adequada disponibilidade hídrica, pode ter contribuído para maior absorção e acúmulo do nutriente.

QUADRO 12. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de magnésio em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar (variedades RB 92579 e SP 832847) em função dos dias após o plantio, Vicentina – MS, 2018

Magnésio	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ – b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
RB 92579					
Folha	4,00	246	66	180	0,99**
Bainha	3,84	246	65	181	0,98**
Colmo	29,50	288	84	204	0,95**
Planta inteira	36,49	276	80	196	0,96**
SP 832847					
Folha	10,81	246	65	181	0,98**
Bainha	4,85	239	68	171	0,91**
Colmo	33,03	272	83	189	0,93**
Planta inteira	47,96	261	78	183	0,95**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAP, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAP, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAP, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer.** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

O máximo acúmulo de Mg em ambas variedades deu-se entre o 9º e o 10º mês de cultivo, coincidindo com o período que antecede a aplicação de maturadores na cultura, o qual segundo Leite e Crusciol (2008) ocorre aos 11 meses. Em virtude da participação do Mg no transporte de sacarose, sugere-se que a aplicação foliar de Mg, associada à utilização de maturadores, possa promover incremento na qualidade tecnológica da matéria-prima por meio do aumento do conteúdo de sacarose nos colmos.

O S foi o quarto elemento mais acumulado pelas plantas, resultando na seguinte ordem de acúmulo: colmo > folha = bainha. O máximo acúmulo na planta inteira

foi de 49,47 e 62,46 kg ha⁻¹ para RB92579 e SP832847 respectivamente, registrado por volta de 250 DAP (Quadro 13).

QUADRO 13. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de enxofre em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar (variedades RB 92579 e SP 832847) em função dos dias após o plantio, Vicentina – MS, 2018

Enxofre	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ – b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
RB 92579					
Folha	4,59	250	74	176	0,92**
Bainha	5,97	236	62	174	0,98**
Colmo	39,17	253	55	198	0,92**
Planta inteira	49,47	251	58	193	0,94**
SP 832847					
Folha	10,38	245	69	176	0,97**
Bainha	9,93	237	66	171	0,92**
Colmo	42,62	263	75	188	0,94**
Planta inteira	62,46	255	73	182	0,96**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAP, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAP, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAP, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

Observou-se que o acúmulo de S foi máximo à medida que as plantas aproximaram-se do período de maturação (Figura 8a e b). Silva et al. (2018), avaliando o acúmulo de nutrientes na parte aérea de quatro variedades de cana-de-açúcar, observou que, em média, são acumulados cerca de 59 kg ha⁻¹ de S no período de maturação. Uma possível explicação para o resultado observado está relacionada à contribuição indireta do S na produção de energia para a transporte de sacarose, visto que este elemento é componente do acetil-CoA, composto que representa o “centro de reação” no ciclo de Krebs, o qual resulta na geração de moléculas energéticas, como o ATP (REECE et al., 2014).

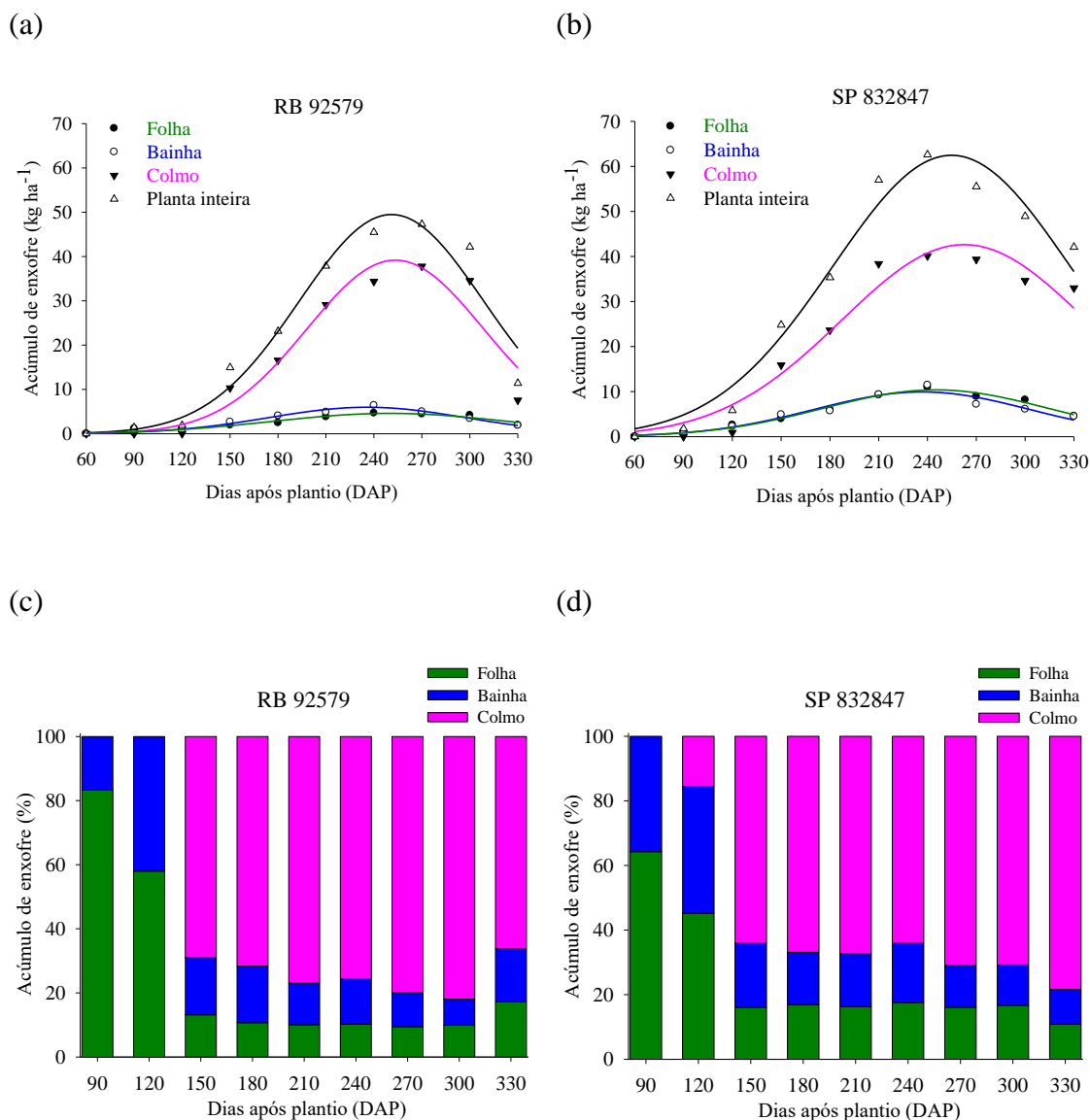


FIGURA 8. Acúmulo de enxofre na parte aérea de variedades de cana-de-açúcar RB 92579 (a e c) e SP 832847 (b e d) em função dos dias após plantio.

A partição do S nas plantas (Figura 8c e d) revela que mais da metade do S absorvido encontra-se nos colmos, de modo que a maioria acumulada será exportada via colheita. Estes resultados assemelham-se aos de Sartori (2010), que afirma que cerca de 55% do S acumulado concentra-se nos colmos, 27% na palhada e 18% nos ponteiros.

O contraste observado entre as variedades, quanto ao acúmulo e exportação de nutrientes, provavelmente está relacionado às exigências nutricionais destes materiais e ao ambiente de produção em que os mesmos foram cultivados (BENETT et al., 2013). Sabe-se que a variedade RB92579 é considerada como de média exigência em fertilidade

do solo, e destina-se, principalmente à ambientes de produção superiores (A-C) (CHAPOLA et al., 2013), o que pode ter contribuído para menor extração de nutrientes em relação à variedade SP832847.

A produção de colmos por hectare (Quadro 14) foi alta em relação à média estadual na safra 2017/18, estimada em 70,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2018a). Cabe lembrar que esta estimativa abrange as diferentes regiões produtoras de Mato Grosso do Sul e não se restringe aos dados referentes à cana-planta, considerando também a produtividade média de soqueiras, o que pode ter contribuído para a diferença observada.

QUADRO 14. Produtividade de colmos de variedades de cana-de-açúcar cultivadas no município de Vicentina, Mato Grosso do Sul

Variedade	Produtividade de colmos (t ha ⁻¹)
RB 92579	123,5
SP 832847	138,6

Segundo Oliveira et al. (2013) e Oliveira et al. (2007a), em anos com boa precipitação pluvial, a produtividade da cultura ultrapassa 120 t ha⁻¹. Embora a cultura tenha sido plantada no período de inverno (julho), a partir do 3º mês de cultivo (outubro) as condições climáticas passaram a favorecer o crescimento e o desenvolvimento da cultura (Figura 1), além disso, a correção e adubação do solo realizadas no experimento propiciaram condições para crescimento e desenvolvimento das plantas, contribuindo para a obtenção de produtividades satisfatórias.

Ao final do experimento, foram extraídos 1,65 kg N, 0,25 kg P, 1,79 kg K, 0,39 kg de Ca, 0,23 kg de Mg e 0,31 kg de S por tonelada de colmo produzida para RB92579, resultando na seguinte ordem de exportação K>N>Ca>S>P>Mg. Em relação a SP832847, para produzir 1 tonelada de colmo foram necessários 1,95; 0,35; 2,90; 0,34; 0,24 e 0,31 kg de N, P, K Ca, Mg e S respectivamente, resultando na seguinte ordem de exportação K>N>Ca=P>S>Mg.

5. CONCLUSÕES

O acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas apresentou a seguinte ordem: $K > N > Ca > S > Mg > P$ para ambas as variedades.

A exportação pelos colmos seguiu a ordem $K > N > Ca > S > P > Mg$ para RB92579 e $K > N > Ca = P > S > Mg$ para SP832847.

O máximo acúmulo de nutrientes e a máxima produção de matéria seca ocorreram no intervalo entre 240 e 300DAP.

A variedade SP832847 acumulou maiores quantidades de nutrientes e matéria seca, bem como o tempo requerido para o máximo acúmulo foi menor em relação à RB92579.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMÁN, F.; NIEVES-CORDONES, M.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F. Root K(+) acquisition in plants: the Arabidopsis thaliana model. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 52, n. 9, p. 1603-1612, 2011.

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

ALVARES, C. A.; STAPES, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlim, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C. Crescimento da parte aérea da cana crua e queimada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1069-1079, 1999.

ALVES, V. M. C.; NOVAIS, R. F.; OLIVEIRA, M. F. G.; BARROS, N. F. Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 248, p. 435-443, 1996.

ANDA. Associação nacional para difusão de adubos e corretivos agrícolas (Brasil). Anuário estatístico do setor de fertilizantes: 2016. São Paulo, 2016.

AMTMANN, A.; ARMENGAUD, P. Effects of N, P, K and S on metabolism: new knowledge gained from multi-level analysis. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 12, n. 3, p. 275-283, 2009.

BARBOSA, M. H. P.; OLIVEIRA, M. W.; SILVEIRA, L. C. I.; DAMASCENO, C. M.; MENDES, L. C. Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB72454 no ciclo da cana-planta. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros Do Brasil. Recife, 2002. **Anais...** Recife, Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2002. p.264- 267.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTT, M. Fontes e doses de manganês no acúmulo de

nutrientes na palhada em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 8-16, 2012.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; BENETT, K. S. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; COSTA, N. R.; MAEDA, A. S.; ANDREOTT, M. Acúmulo de nutrientes no colmo de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de manganês. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1077-1088, 2013.

BIOSUL. Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul. Estatísticas: Mapa da bioenergia, 2018a. Disponível em: <<http://www.biosulms.com.br/resultados>>. Acesso em 9 dez. 2018.

BIOSUL. Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul. Estatísticas: Histórico de produção, 2018b. Disponível em: <<http://www.biosulms.com.br/resultados>>. Acesso em 9 dez. 2018.

BLUM, S. C.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F. Sulfur forms in organic substrates affecting S mineralization in soil. **Geoderma**, Amsterdam v. 200-201, p. 156-164, 2013.

BOSE, J.; BABOURINA, O.; RENGEL, Z. Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 7. p. 2251 – 2264, 2011.

BRAGA JUNIOR, R. L. C.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N.; THOMAZINHO JÚNIOR, J. R.; SILVA, V. H. P. Censo varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil – Safra 2017/18. Campinas: Instituto Agrônômico, 2018. 50p.

CAIONE, G.; LANGE, A.; BENETTI, C. G. S.; FERNANDES, F. M. Fontes de fósforo para a adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.

CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 133, n. 4, p. 692-704, 2008.

CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production **Better Crops**, v. 94, n. 2, p. 23-25, 2010.

CALDEIRA FILHO, C. A.; SILVA, A. T. B. Aspectos cognitivos da formulação de estratégias políticas: um estudo de caso no setor de etanol brasileiro. **Anais... XXXVI Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração**. Rio de Janeiro, 2012.

CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S.; SANTIAGO, A. D.; ARISTIDES, E.V.S. Produção de biomassa, de açúcar e de proteína em função de variedades de cana e de adubação fosfatada. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 809-818, 2012.

CANASAT. INPE. Dados do município de Dourados MS. 2014. LAFWEB. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html>>. Acesso em 7 nov. 2018.

CARVALHO, J. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M. P. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2013.

CAVALCANTE, V. S.; PRADO, R. M.; ALMEIDA, H. J.; CRUZ, F. J. R.; SANTOS, D. M. M. Gaseous exchanges, growth and foliar anatomy of sugarcane plants grown in potassium (K) deprived nutrient solution. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 7, p. 577-584, 2015.

CHAPOLA, R. G.; CRUZ, J. A.; NUNES, I. K.; FERNANDES J, A. R. **Censo Varietal 2012**. Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal de São Carlos. 2013. 55p.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **O setor sucroenergético em 2030: dimensões, investimentos e uma agenda estratégica**. Brasília: CNI, 2017. 108p.

COLETI, J. J., CASAGRANDE, J. C., STUPIELLO, J. J., RIBEIRO, L. O.; OLIVEIRA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em argissolos, variedades RB 835486 e SP 81-3250. **STAB**, Piracicaba, v. 24, n. 5, 2006.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2016/17 - Quarto levantamento, v. 3, n. 4, abril/2017. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar?limitstart=0>>. Acesso em 22 set. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2017/18 - Quarto levantamento, v. 4, n. 4, abril/2018a. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em 20 set. 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2018/19 - Terceiro levantamento, v. 5, n. 3, dezembro/2018b. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em 06 jan. 2019.

COPERSUCAR. **7ª Geração de variedades de cana-de-açúcar**. Copersucar, 1999. 32p.

COSTA, C. T. S.; SAAD, J. C. C.; SILVA JÚNIOR, H. M. Growth and productivity of sugarcane varieties under various irrigation levels. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 945-955, 2016.

DE SILVA, A.L.C.; DE COSTA, W.A.J.M. Growth, and Radiation use efficiency of sugarcane under irrigated and rain-fed conditions in Sri Lanka. **Sugar Tech**, Nova Delhi, v. 14, n. 3, p. 247-254, 2012.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.

DEMATTE, J. L. I.; PAGGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. Uso de silicatos em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, n. 133, p. 8-12, 2011.

DING, Y.; XU, G. Low magnesium with high potassium supply changes sugar partitioning and root growth pattern prior to visible magnesium deficiency in leaves of rice *Oryza sativa* L. **American Journal of Plant Science**, v. 2, n. 4, p. 601–608, 2011.

DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C.; CAMARGO, M. A. F.; RECO, P. C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 1-20, 2003.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 403p.

FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crop plants**. Boca Raton: CRC Press, 2009. 430p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. **Food Outlook: Biannual report on global food markets**. Disponível em <<http://www.fao.org/3/ca0239en/CA0239EN.pdf>>. Acesso em 12 out. 2018.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.

FERNANDES, M. B.; FREIRE, F. J.; COSTA, F. G. B. Gesso mineral como fonte de enxofre para cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 101-109, 2007.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 5ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2011. 733p.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; SARTORI, R.H.; TRIVELIN, M.O. Acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 26, p. 47- 51, 2008.

FUESS, L.T.; GARCIA, M. L. Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 145, n. 1, p. 210-229, 2014.

HEPLER, P.K.; WINSHIP, L.J. Calcium at the Cell Wall-Cytoplasm Interface. **Journal of Integrative Plant Biology**, Malden, v. 52, n. 2, p. 147-160, 2010.

HERMANS, C.; JOHNSON, G. N.; STRASSER, R. J.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterisation of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. **Planta**, New York, v. 220, n. 2, p. 344–355, 2004.

HERMANS, C.; BOURGIS, F.; FAUCHER, M.; STRASSER, R. J.; DELROT, S.; VERBRUGGEN, N. Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. **Planta**, New York, v. 220, n. 4, p. 541–549, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo extra em campo: O IBGE e a história dos recenseamentos agropecuários**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 618p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **A geografia da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 172p.

INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71-84, 2002.

KAMINSKI, J.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. Potassium availability in a hapludalf soil under long term fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 783-791, 2010.

KARLEY, A. J.; WHITE, P. J. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 12, n. 3, p. 291–298, 2009.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 431p.

KINGSTON, G. Mineral Nutrition of Sugarcane. In: MOORE, Paul H.; BOTHA, Frederik C. (Ed.). **Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology**. Oxford: John Wiley & Sons, 2014. p. 85-120.

KOBLITZ, M.G.B. Carboidrases. In KOBLITZ, M.G.B (Org.). **Bioquímica de alimentos: teorias e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. p. 20-76.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 290-306.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009.

KROUK, G. Hormones and nitrate: a two-way connection. **Plant molecular biology**, Zurich, v. 91, n. 6, p. 599-606, 2016.

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.

KURIHARA, C. H.; ALVAREZ, V. H.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS R. F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 690-698. 2013.

LEAL, M.R.L.V.; GALDOS, M.V.; SCARPARE, F.V.; SEABRA, E.A.J.; WALTER, A.; OLIVERIA, C.O.F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 53, p. 11-19, 2013.

LEITE, J. M. **Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio**. 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2011.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 995-1001, 2008.

LIMA, E.; VITTI, G. C.; SANTOS, L. A.; CICARONE, F. Cálcio e Magnésio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p. 465-490.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. 1ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. 492p.

LUO, L.; PAN, S.; LIU, X.; WANG, H.; XU, G. Nitrogen deficiency inhibits cell division-determined elongation, but not initiation, of rice tiller buds. **Israel Journal of Plant Sciences**, Jerusalem, v. 64, n. 3, p. 32–40, 2017.

MAGRO, F. J. TAKAO, CAMARGO, G. P. E. TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011. 18p.

MAHADEVIAIAH, M. S.; KUMAR, Y.; GALIL, M. S. A.; SURESHA, M. S.; SATHISH, M. A.; NAGENDRAPP, G. A simple spectrophotometric determination of phosphate in sugarcane juices, water and detergent samples. **E-Journal of Chemistry**, Tamil Nadu, v. 4, n. 4, p. 467-473, 2007.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P. Nutrição e adubação. In: MALAVOLTA, E., SEGALA, A.L, GOMES, F.P., et al. **Cultivo e adubação da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. p. 237-278.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997.

MALAVOLTA, E. Potássio – Absorção, transporte e redistribuição na planta. In: Yamada, T., Roberts, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 179-230.

MARENCO, R.A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 397p.

MARIANO, E.; LEITE, J.M.; VIEIRA-MEGDA, M.X.; CIAMPITTI, I.A.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O. Biomass and Nutrient Content by

Sugarcane as Affected by Fertilizer Nitrogen Sources. **Crop Science**, Madison, v. 56, n. 3, p. 1234-1244, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ed. London: Academic Press, 2012. 651p.

McCORMICK, A.J.; CRAMER, M.D.; WATT, D.A. Regulation of photosynthesis by sugars in sugarcane leaves. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 165, n. 17, p. 1817–1829, 2008.

McCORMICK, A.J.; WATT, D.A.; CRAMER, M.D. Supply and demand: sink regulation of sugar accumulation in sugarcane. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 357–364, 2009.

MEENA, B. S.; RAM, B.; NAROLIA, R. S.; SINGH, P. Yield, quality, nutrient uptake and economics of spring sugarcane (*Saccharum officinarum*) as influenced by balanced fertilization in clay loam soils of Rajasthan. **Indian Journal of Agronomy**, v. 60, p. 457-463, 2015.

MEGDA, M.X.V.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; VITTI, A.C. Eficiência agrônômica de adubos nitrogenados em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 12, p. 1681-1690, 2012.

MEURER, E. J.; TIECHER, T.; MATTIELLO, L. Potássio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p. 429-464.

MISHRA, A. K.; SHUKLA, S. K.; YADAV, D. V.; AWASTHI, S. K. Iron, manganese and sulphur uptake and nutrients availability in sugarcane based system in subtropical India. **Sugar Tech**, Nova Delhi, v. 16, p. 300-310, 2014.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Editora UFV, 1999. 399p.

ÖBORN, I.; EDWARDS, A. C.; HILLIER, S. Quantifying uptake rate of potassium from soil in a long-term grass rotation experiment. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 335, n. 1, p. 3-19, 2010.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007a.

OLIVEIRA, R.; ADAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C., ZUFFELLATO- RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua relação com sua produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007b.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I.; OLIVEIRA, A.C.; FREIRE, M.B.G.S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, F. M. **Avaliação das características agrotecnológicas de duas variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

OLIVEIRA, T. B. A., SELIG, P. M.; BARBOSA, V. M.; CAMPOS, L. M. S.; BORNIA, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Tecnologia e custo de produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso em uma propriedade agrícola. **Latin American Journal of Business Management**, v. 3, n. 1, p. 150-172, 2012.

OLIVEIRA, E.C.A; GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Determining a critical nitrogen dilution curve for sugarcane. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 176, n. 5, p. 712–723, 2013a.

OLIVEIRA, F. M. V.; PINHEIRO, I. O.; MAIOR, A. M. S.; MARTIN, C.; GONÇALVES, A. R.; ROCHA, G. J. M. Industrial-scale steam explosion pretreatment of sugarcane straw for enzymatic hydrolysis of cellulose for production of second generation ethanol and value-added products. **Bioresource Technology**, Essex, v. 130, n. 1, p. 168-173, 2013b.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. 369p. (Planalsucar, 2).

OSAKABE, Y.; ARINAGA, N.; UMEZAWA, T.; KATSURA, S.; NAGAMACHI, K.; TANAKA, H.; OHIRAKI, H.; YAMADA, K.; SEO, S.; ABO, M.; YOSHIMURA, E.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Osmotic stress responses and plant growth controlled by potassium transporters in arabidopsis. **The Plant Cell**, v. 25, n. 2, p. 609-624, 2013.

OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 398-405, 2009.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1137-1145, 2010.

PAUNGFOO-LONHIENNE, C.; LONHIENNE, T. G. A.; RENTSCH, D.; ROBINSON, N.; CHRISTIE, M.; WEBB R. I.; GAMAGE, H. K.; CARROLL B. J.; SCHENK, P. M.; SCHMIDT, S. Plants can use protein as a nitrogen source without assistance from other organisms. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 105, n. 11, p. 4524–4529, 2008.

PEAUCELLE, A.; BRAYBROOK, S.; HÖFTE, H. Cell wall mechanics and growth control in plants: the role of pectins revisited. **Frontiers in Plant Science**, v. 3, n. 121, 2012.

PEREIRA, W. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

PEREIRA, T.C.G. (Org.). **Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético**. 1ed. Curitiba: COPEL/UTFPR, 2014. 303p.

PLANALSUCAR. Nutrição e fertilidade. Piracicaba: Planalsucar, 1975. 80p. (Relatório annual).

PRICE, C.; MALPAS, R.; QUICENO, R.; WANG, L.; WOODS, J. Economic and GHG emissions analyses for sugarcane ethanol in Brazil: looking forward. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 40, p. 571-582, 2014.

PROSEUS, T.E.; BOYER, J.S. Pectate chemistry links cell expansion to wall deposition in *Chara corallina*. **Plant Signaling and Behavior**, v. 7, n. 11, p. 1490-1492, 2012.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285p.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

REECE, J. B.; URRY, L. A.; CAIN, M. L.; WASSERMAN, S. A.; MINORSKY, P. V.; JACKSON, R.; CAMPBELL, N. A. **Campbell biology**. 10ed. Boston: Pearson, 2014. 579p.

RENGEL, Z.; DAMON, P. M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. **Physiologia plantarum**, Copenhagen. v. 133, n. 4, p. 624-636, 2008.

RIDESA. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar. 2010.

ROCHA, A. T. **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial**. 2007. 78 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

RODRIGUES, C. **Produção, Extração e Purificação de Hormônio vegetal (Ácido Giberélico) por Fermentação no Estado Sólido em Polpa Cítrica e Utilização do Extrato em Meio de Cultivo de Bromélias in vitro**. 2010. 180 f. Tese (Doutorado em Processos Biotecnológicos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ROSSETTO, R. et al. Fósforo. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010, p. 271-288.

SALVIANO, A. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Acúmulo e exportação de macronutrientes pela cana de açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Intellecto**, Venda Nova do Imigrante, n. 2, 2017.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SARTORI, R. H. **Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima)**. 2010. 112 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SHEKINAH, D. E.; SUNDARA, B.; RAKKIYAPPAN, P. Relative significance of n nutrition on yield, quality and ethanol in sugarcane (*Saccharum* species hybrid) plant: ratoon system. **Sugar Tech**, Nova Delhi, v. 14, n. 2, p. 34–137, 2012.

SILVA, M. A.; GAVA, G. J. C.; CAPUTO, M. M.; SORRILLA, P. F.; BASSETTO, S. C. Produtividade de colmos e de sacarose em cana-de-açúcar em função da interação entre cultivares e maturadores. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 4, 2010.

SILVA, V. T. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar, em cana-soca, na região de Coruripe**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; SANTOS, C. E. R. S.; OLIVEIRA, D. C.; SILVA, C. T.; REIS, R. M. S. Produtividade de colmos e açúcares de quatro variedades de cana-de-açúcar em três anos agrícolas. **Anais... XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão**, UFRPE: Recife, 2013.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOUZA, L. S. B. Biomassa seca acumulada, partições e rendimento industrial da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 686-696, 2014.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, T. B. A.; SANTANA, M. B.; GALVÃO, E. R. Stalk yield and nutrients accumulation of sugarcane varieties in three crop cycles. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 2, p. 141-150, 2018.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 840-848, 2009.

SINGH, G. K.; YADAV, R. L.; SHUKLA, S. K. Effect of planting geometry, nitrogen and potassium application on yield and quality of ratoon sugarcane in sub-tropical climatic conditions. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 80, n. 12, p. 1038-1042, 2010.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUZA, Z. M.; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. M.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R.; MONTANARI, R. Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar e incidência de broca-comum e cigarrinha-da-raiz em canavial colhido sem queima. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 413-419, 2008.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018, p. 309-376.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A. Importância do enxofre na agricultura brasileira. **IPNI: Informações Agronômicas**, n. 129, p. 14-20, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**. 6ed. Sinauer Associates: Sunderland, 2015. 761p.

TEKLIĆ, T.; VRATARIĆ, M.; SUDARIĆ, A.; KOVAČEVIĆ, V.; VUKADINOVIĆ, V.; BERTIĆ, B. Relationships among chloroplast pigments concentration and chlorophyll meter readings in soybean under influence of foliar magnesium application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 40, p. 706-725, 2009.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com uso do traçador ¹⁵N**. 2000. 143 f. Tese de livre-docência (Especialidade/Disciplina: Isótopos Estáveis) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 637-646, 2002.

TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FERREIRA, D. A.; VITTI, A. C.; FORTES, C.; FARONI, C. E.; OLIVEIRA, E. C. A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 5, p. 345-352, 2013.

UNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Unica data. 2018. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/unica/?idioma=1>>. Acesso em 14 nov. 2018.

UNICA. União da indústria de cana-de-açúcar. 2016. Disponível em <unicadata.com.br> Acesso em 14 nov. 2018.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Ethanol data. 2016. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/bioenergy/background.aspx>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

VALE, D. W. **Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

VEIGA, A. D.; VON PINHO, E. V. R.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. A. R.; OLIVEIRA, K. C. de; VON PINHO, R. G. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p.953-960, 2010.

VIDIGAL, S.M.; PACHECO, D.D.; COSTA, E.L.C.; FACION, C.E. Crescimento e acúmulo de macro e micronutrientes pela melancia em solo arenoso. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 1, p. 112-118, 2009.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SILVA, J. S. **Manual de fisiologia vegetal**. 1ed. EDUFMA: São Luís, 2010. 230p.

VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; MEDEIROS J. S. Contribution of non-exchangeable potassium forms and its accumulation in corn plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 9–15, 2016.

VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; MEDEIROS J. S. Capacidade de suprimento de potássio em doze classes de solos em função de cultivos sucessivos de milho. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 59, n. 3, p. 219-227, 2017.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, Ponta Grossa, v. 8, n. 2, p. 37-44, 2013.

VINALL, K.; SCHMIDT, S.; BRACKIN, R.; LAKSHMANAN, P.; ROBINSON, N. Amino acids are a nitrogen source for sugarcane. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v. 39, n. 6, p. 503-511, 2012.

VITTI, G. C.; MUTTON, M. A.; FORNASIERI FILHO, D.; PERECIN, D.; ROSOLEM, C. A.; NOCITI, P. R. H.; MENDES, J. M.; PARANHOS, S. B.; PICCIN, C. R.; MALAVOLTA, M. L.; MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico**. V - Cana-de-açúcar. Centro Nacional de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio: Piracicaba, 1989. 50p. (Boletim técnico, 5).

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETTO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ed. Instituto Agronômico, 2010, p. 239-270.

VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 287-293, 2011.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETO, J. Manejo do enxofre na agricultura. **IPNI: Informações Agronômicas**, n. 152, p. 1-14, 2015.

WANG, J.; NAYAK, S.; KOCH, K.; MING, R. Carbon partitioning in sugarcane (*Saccharum* species). **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 201, p. 1-6, 2013.

WISSMANN, M. A.; OYAMADA, G. C.; WESENDONCK, C. C.; SHIKIDA, P. F. A. Evolução do cultivo da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 2, n. 1, p. 95-117, 2014.

ZAMBROSI, F. C. B. Adubação com fósforo em cana-soca e sua interação com magnésio. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p. 400-405, 2011.

ZHU, Y.; FAN, X.; HOU, X.; WU, J.; WANG, T. Effect of different levels of nitrogen deficiency on switchgrass seedling growth. **The Crop Journal**, Beijing, v. 2, n. 4, p. 223-234, 2014.

ZOBIOLE L. H. S.; CASTRO C.; OLIVERIA F. A.; OLIVEIRA JUNIOR A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 425-433, 2010.