

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

CRESCIMENTO, QUALIDADE INDUSTRIAL E
BALANÇO DE NUTRIENTES DE CULTIVARES DE CANA-DE-
AÇÚCAR SOB ADUBAÇÃO NO CERRADO

Autor: Pedro Henrique Martins Cintra
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

CERES - GO
Dezembro - 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

CRESCIMENTO, QUALIDADE INDUSTRIAL E
BALANÇO DE NUTRIENTES DE CULTIVARES DE CANA-DE-
AÇÚCAR SOB ADUBAÇÃO NO CERRADO

Autor: Pedro Henrique Martins Cintra
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres – Área de concentração: Irrigação.

Ceres - GO
Dezembro - 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

CP372c Cintra, Pedro Henrique Martins Cintra
Crescimento, qualidade industrial e balanço de
nutrientes de cultivares de cana-de-açúcar sob
adubação no cerrado / Pedro Henrique Martins Cintra
Cintra; orientador Roris Luciano Machado Machado. --
Ceres, 2019.
71 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado profissional em
irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Ceres, 2019.

1. Fertilidade. 2. Nutrição de plantas. 3.
Saccharum officinarum. 4. Balanço nutricional. I.
Machado, Roris Luciano Machado, orient. II. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Pedro Henrique Martins Costa

Matrícula: 201810330640840

Título do Trabalho: Crescimento, qualidade industrial e balanço de nutrientes de Cultivos em Casa-de-água sob coltura sob o cerrado

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/10/2020

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Costa Local 30/09/2020 Data

Pedro Henrique Martins Costa
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Roniz Luciano MacLada
Assinatura do(a) orientador(a)

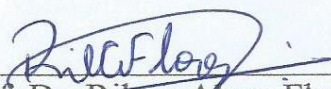
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

CRESCIMENTO, QUALIDADE INDUSTRIAL E
BALANÇO DE NUTRIENTES DE CULTIVARES DE CANA-
DE-AÇÚCAR SOB ADUBAÇÃO NO CERRADO

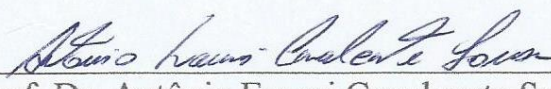
Autor: Pedro Henrique Martins Cintra
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração:
Irrigação

APROVADO em 30 de dezembro de 2019.



Prof. Dr. Rilner Alves Flores
Avaliador externo
UFG – Campus Samambaia



Prof. Dr. Antônio Evami Cavalcante Sousa
Avaliador interno
IF Goiano/Campus Ceres



Prof. Dr. Roriz Luciano Machado
(Orientador)
IF Goiano/Campus Ceres

A Deus, senhor de todas as coisas,
À virgem Maria, nossa mãe,
e a todos os Santos que intercedem por nós,

OFEREÇO

Aos meus pais Pedro Martins de Rezende e Rozilene M. C. de Rezende,
por todo amor e carinho.

Ao meu irmão Marcos Paulo Martins Cintra, pelos momentos de
diversão e companheirismo.

A toda minha família, por nunca desistir de me proporcionar o melhor e
me dar forças nos momentos difíceis.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ter abençoado e guiado meu caminho até aqui.

Aos meus amados pais, Pedro M. de Rezende e Rozilene M. C. de Rezende, por terem me dado educação, terem sido meu alicerce em toda minha vida e por não medirem esforços para me ajudar a realizar meus sonhos.

Ao meu querido irmão, Marcos Paulo Martins Cintra, por estar sempre junto comigo e dos meus pais nos ajudando e sendo um dos motivos de todos os nossos sonhos.

Ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. Roriz Luciano Machado, por todos os esclarecimentos e orientações na realização deste trabalho.

A meu amigo Matheus de Paiva Reis e a todos que com ele dividiam residência, por terem me acolhido na cidade de Ceres-GO sempre que precisei.

A todos os integrantes do Grupo de Pesquisa em Cana-de-Açúcar e Ciência do Solo, pelas experiências e conhecimentos divididos em pesquisa de campo e pela ajuda na coleta dos dados.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, por ter me propiciado a oportunidade de cursar uma pós-graduação.

À Usina CRV Industrial, pela parceria realizada na execução do experimento no campo e análises tecnológicas.

A todos os professores que contribuíram da melhor forma possível, com a amizade, convivência e transmissão de conhecimentos durante o período de mestrado.

A todos os meus amigos, em especial Kenia Lorrany Trindade, Nayane Oliveira e Fernando Henrique Arriel, que vivenciaram comigo durante esses dois anos de muitas risadas, brincadeiras e alegrias, além de terem me ajudado a enfrentar os momentos de dificuldades.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos bolsistas Jackson Jordão e Lucas Eduardo e ao voluntário Hélio Soares Miranda Netto, pelas incansáveis horas dedicadas à execução do projeto.

Ao Laboratório Unisolo de Goianésia-GO e ao Laboratório de Solos do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, pela ajuda durante as análises de material vegetal e solos.

A todos que de algum modo contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, meu muito obrigado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

PEDRO HENRIQUE MARTINS CINTRA, filho de Rozilene M. C. de Rezende e Pedro Martins de Rezende, nascido em 15 de dezembro de 1995 em Rubiataba-GO. Em 2010, ingressou no curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio no Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, concluindo-o no ano de 2012. Logo em seguida, iniciou seus estudos de nível superior no curso de Bacharelado em Agronomia pela mesma Instituição, recebendo em 2017 o título de Bacharel em Agronomia. Em 2018, iniciou o curso de Mestrado em Irrigação no Cerrado, também no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, Área de Concentração: Irrigação, executando trabalho relacionado à fertilidade do solo e à nutrição de plantas.

ÍNDICE

	Página
RESUMO GERAL	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
Aspectos socioeconômicos e ambientais da cultura da cana-de-açúcar	5
Necessidades nutricionais da cultura da cana-de-açúcar	6
Dinâmica de nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio no solo	8
Balanço de P e K no sistema solo-planta.....	15
Cultivares de cana-de-açúcar RB92579 e SP801816	17
INTRODUÇÃO	22
MATERIAL E MÉTODOS	24
Crescimento e qualidade industrial	27
Balanço nutricional de fósforo e potássio	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

ÍNDICE DE TABELAS

Página

Tabela 1 - Resultados da análise química e física de amostras de solo da área experimental na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade	26
Tabela 2 - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos de crescimento de cultivares de cana-de-açúcar irrigadas sob diferentes doses de adubação NPK no cerrado	30
Tabela 3 - Número de folhas e número médio de gemas para cultivares de cana-de-açúcar independentemente de doses de adubação NPK 5-2-25	37
Tabela 4 - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos de final de ciclo de cultivares de cana-de-açúcar (cana planta) irrigadas sob diferentes doses de adubação NPK no cerrado	41
Tabela 5 - Balanço de K no solo e na lavoura para as cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes doses NPK da formulação 05-25-25, na profundidade de 0 a 0,2 m	47
Tabela 6 - Balanço de P no solo e na lavoura para as cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes doses NPK da formulação 05-25-25, na profundidade de 0 a 0,2 m	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Ciclo do nitrogênio.....	11
Figura 2 - Ciclo do fósforo	13
Figura 3 - Ciclo do potássio.....	15
Figura 4 - Precipitação pluvial, temperatura mínima, máxima e média, durante o período de 08/04/2018 a 20/06/2019, na Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar em Ceres-GO.	24
Figura 5 - Precipitação pluvial, temperatura mínima, máxima e média, durante o período de 17/10/2019 a 17/01/2020, na Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar em Ceres-GO.	25
Figura 6 - Número de perfilhos (quantidade m ⁻¹) das cultivares de cana-de-açúcar RB92579 e SP801816 em função de diferentes doses de adubação NPK 5-25-25	32
Figura 7 – Média de número de perfilhos das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK em sete épocas de avaliação	33
Figura 8 - Altura de plantas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar sob diferentes doses de adubação NPK 5-25-25	34
Figura 9 – Altura média de plantas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK em função de épocas de avaliação	35
Figura 10 - Diâmetro médio de colmo das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK em diferentes épocas de avaliação	36
Figura 11 - Número médio de folhas para as cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25	38
Figura 12 - Número médio de folhas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK em diferentes épocas de avaliação	39
Figura 13 - Número médio de gemas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses (fator isolado) de adubação NPK 5-25-25	39

Figura 14 - Número médio de gemas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK em sete épocas de avaliação	40
Figura 15 - Produtividade média (toneladas de cana por hectare - TCH) das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25.....	42
Figura 16 - °Brix médio de cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25	43
Figura 17 - Sacarose aparente no caldo (POL) de cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25	44
Figura 18 - Teor médio de fibra das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25	45
Figura 19 - ATR médio das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25	46

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo /Sigla	Significado	Unidade de Medida
%	Porcentagem	
*	Significativo a 5%	
**	Significativo a 1%	
°C	Graus Celsius	
AD	Adubação	
Al	Alumínio	
ANOVA	Análise de variância	
AP	Altura de plantas	cm
ATR	Açúcares totais recuperáveis	kg t ⁻¹
C	Carbono	
Ca	Cálcio	
Cm	Centímetros	
CTC	Capacidade de troca catiônica	
CUC	Coefficiente de Uniformidade de Christiansen	%
CV	Cultivar	
DAP	Dias após o plantio	dias
DC	Diâmetro do colmo	mm
DIC	Delineamento inteiramente casualizado	
EP	Época	
Fe	Ferro	
FV	Fonte de variação	
GL	Grau de liberdade	
H	Hidrogênio	
K	Potássio	
Kg	Quilogramas	
M	Metros	
Mg	Magnésio	
Mm	Milímetros	
N	Nitrogênio	
NFV	Número de folhas Verdes	
NG	Número de gemas	
NP	Número de perfilhos	
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio	
Ns	Não significativo	
O	Oxigênio	
P	Fósforo	
PIB	Produto interno bruto	
T	Toneladas	
TCH	Toneladas de colmos por hectare	t ha ⁻¹
TF	Teor de fibras	%
V%	Saturação de bases	%

RESUMO GERAL

CINTRA, PEDRO HENRIQUE MARTINS. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, fevereiro de 2020. **Crescimento, qualidade industrial e balanço de nutrientes de cultivares de cana-de-açúcar sob adubação no cerrado.** Orientador: Dr. Roriz Luciano Machado.

A aplicação de fertilizantes deve ser feita de forma planejada de modo a garantir o fornecimento adequado de nutrientes. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a resposta de cultivares de cana-de-açúcar à adição de doses crescentes de NPK em Ceres (GO) em Latossolo Vermelho. Foram utilizados 2 delineamentos experimentais. O primeiro, relativo à fase de crescimento, foi inteiramente casualizado (DIC) em parcela subdividida no tempo 2x4x7, sendo duas cultivares (RB92579, SP801816), quatro doses de adubação (0, 250, 500 e 750 kg ha⁻¹ de NPK 05-25-25) e sete épocas de avaliação (a cada 2 meses) com quatro repetições. No segundo (final de ciclo), não houve o fator épocas, configurando um arranjo fatorial 2x4, também com 4 repetições. As variáveis de crescimento foram número de perfilhos (NP), altura de plantas (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas verdes (NF) e número de gemas (NG); e as variáveis de final de ciclo foram tonelada de colmos por hectare (TCH), °Brix, teor de sacarose aparente no caldo (Pol), teor de fibra (TF) e açúcares totais recuperáveis (ATR). Foi avaliado também o balanço de nutrientes para fósforo e potássio no solo e na lavoura. As variáveis de crescimento NP e AP apresentaram interação cultivar x adubação significativa. Para as interações cultivar x épocas e adubação x épocas, todas as variáveis de crescimento foram significativas. Para variáveis de final de ciclo, apenas TCH não apresentou interação significativa para cultivar x adubação, bem como para os fatores isolados. A cultivar RB92579 respondeu linearmente às doses de NPK para as variáveis NP e AP. A cultivar SP801816 teve ajuste quadrático para AP e não se ajustou aos modelos testados para NP, DC e NG. NF e NG se ajustaram para doses (fator isolado) ao modelo quadrático. Na interação cultivar x época, a cultivar RB92579 teve ajuste ao modelo linear para AP e NG, cúbico para NP e NF e quadrático para DC. A cultivar SP801816 respondeu de forma linear para NP, AP e NG e quadrática para DC e cúbica para NF. Para as variáveis de final de ciclo, a adubação influenciou no °Brix, Pol, TF e ATR. Para a cultivar RB92579, a resposta foi linear para Brix, Pol e ATR, não tendo ajuste para TF. A cultivar SP801816 se ajustou (linear) apenas para TF. O perfilhamento máximo ocorreu aos 150 dias após plantio (DAP) na cultivar RB92579 e foi linear para SP801816. A extração de P pelos colmos aumentou

até a dose de 500 kg ha⁻¹ para ambas as cultivares, e para potássio, até as doses de 500 e 750 kg ha⁻¹ de NPK 5-25-25 para SP801816 e RB92579, respectivamente. As doses de máxima eficiência técnica de NPK 05-25-25 para as cultivares RB92579 e SP801816 variam de 455,6 a 750 e de 442,7 a 750 kg ha⁻¹, respectivamente. A cultivar RB92579 apresentou maior (9,7%) produtividade (TCH) que a cultivar SP801816. Doses a partir de 500 kg ha⁻¹ apresentam balanço positivo para K e P, respectivamente, para cana-planta, não afetando as reservas desses nutrientes no solo nas condições do estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilidade, Nutrição de plantas, *Saccharum officinarum*, Balanço nutricional.

GENERAL ABSTRACT

CINTRA, PEDRO HENRIQUE MARTINS. Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute) Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, February 2020. **Growth, industrial quality, and nutrient balance of sugarcane cultivars under fertilization in the Cerrado (Brazilian Savannah).** Advisor: Prof. Dr. Machado, Roriz Luciano.

The fertilizer application must be done in a planned manner to ensure an appropriate nutrient supply. This paper aimed to evaluate the response of sugarcane cultivars to the addition of increasing NPK doses in Oxisol in Ceres municipality, Goiás State (GO), Brazil. Two experimental designs were used. The first experiment related to the sugarcane growth phase was at completely randomized design (CRD), in a 2x4x7 split-plot scheme, being two cultivars (RB92579 and SP801816), four NPK 05-25-25 fertilizer doses (0, 250, 500, and 750 kg ha⁻¹), seven evaluation periods, (every two months) with four replicates. In the second experiment (end-cycle), there was no period factor, setting a 2x4 factorial arrangement, also with four replicates. The growth variables were: (a) number of profiles (NP); (b) plant height (PH); (c) culm diameter (CD); (d) number of green leaves (GL); and (e) number of buds (NB). The end-cycle variables were: (a) ton of culms per hectare (TCH); (b) °Brix; (c) apparent sucrose content in the broth (Pol); (d) fiber content (FC); and (e) total recoverable sugars (TRS). Phosphorus and potassium nutrient balance in the soil and crops was also evaluated. The growth variables of NP and PH showed significant interaction between cultivar and fertilization. All growth variables had significant interactions between cultivar/period and fertilization/period. The RB92579 cultivar responded linearly to NPK doses for NP and PH. The SP801816 cultivar had quadratic adjustment for PH and had not adjustment to the models tested for NP, CD, and NB. GL and NB showed adjustment for doses (isolated factor) to the quadratic model. In the cultivar/period interaction, the RB92579 cultivar had adjustment to the linear model for PH and NB, to the cubic model for NP and GL, and to the quadratic model for CD. The SP801816 cultivar responded in a linear way to NP, PH, and GL, in a quadratic way to CD, and in a cubic way to GL. For end-cycle variables, only TCH has not showed significant interaction between cultivar/fertilization, as well as for isolated factors. For end-cycle variables, fertilization influenced the °Brix, Pol, FC, and total reducing sugar (TRS). For RB92579 cultivar, the response was linear for oBrix, Pol, and TRS with no adjustment for FC. The SP801816 cultivar was adjusted (in a linear way) only for FC. Maximum tillering occurred at 150th day after planting (DAP) in the RB92579 cultivar and was linear for the SP801816 cultivar. The P extraction by the culms increased up to the 500 kg ha⁻¹ dose for

both cultivars, and potassium extraction by the culms increased up to the 500 and 750 kg ha⁻¹ of NPK 5-25-25 doses for the SP801816 and RB92579 cultivars, respectively. The maximum technical efficiency of NPK 05-25-25 doses for the RB92579 and SP801816 cultivars vary from 455.6 to 750 and 442.7 to 750 kg ha⁻¹, respectively. The RB92579 cultivar showed higher yield (9.7%-TCH) than the SP801816 cultivar. Doses from 500 kg ha⁻¹ showed a positive balance for K and P, respectively, for sugarcane plant, not affecting the reserves of these nutrients in the soil under this study conditions.

Keywords: Fertility. Nutritional balance. Plant nutrition. *Saccharum officinarum*.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Aspectos socioeconômicos e ambientais da cultura da cana-de-açúcar

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e seus derivados, como etanol e açúcar. Os avanços recentes na conversão de cana e melaço em biocombustível têm fortalecido cada vez mais a matriz energética brasileira (SILVA et al., 2011). A produção de energia a partir da cana-de-açúcar também desempenha papel importante para o país. Atualmente, existem cerca de 408 usinas de cana-de-açúcar no Brasil, todas autossuficientes em energia elétrica com produção pela queima do bagaço, resultando, assim, em uma redução significativa de custos. Algumas usinas também apresentam cogeração de eletricidade, permitindo a venda do excedente de energia, aumentando a renda e a redução da dependência de outras fontes (HEINRICHS et al., 2017).

A dinâmica da economia canavieira no Brasil teve registro desde a época colonial e se estende como atividade econômica de grande estrutura até os dias atuais. Inicialmente, se propagou na região litorânea do Nordeste, estendendo-se, posteriormente, para o Centro-Sul brasileiro. Responsável por uma variedade de produtos dela derivados, a cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões do país, contribuindo acentuadamente na constituição do Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário (SILVA FILHO et al., 2014).

A agroindústria canavieira no Brasil movimentada, aproximadamente, 2% do seu PIB e gera cerca de 1 milhão de empregos formais, com total salarial em torno de US\$ 738 milhões. A produção de etanol e a cogeração de energia derivada do bagaço já representam 15,7% da energia do país (SHIKIDA, 2013).

Na safra 2019/2020, o Brasil cultivou, aproximadamente, 10,19 milhões de hectares da cultura, colhendo 642,72 milhões de toneladas. Este volume de produção gerou 30,15 milhões de toneladas de açúcar e 33,84 bilhões de litros de álcool. O estado de Goiás é o segundo maior produtor nacional da cultura, com área plantada correspondente a 11,35% do total e 11,8% da produção total (CONAB, 2019).

O fornecimento de matéria-prima em nível e frequência adequados é imprescindível para otimizar o uso das infraestruturas disponíveis (URIBE et al., 2016). Para tanto, deve-se

buscar otimizar os sistemas produtivos pelo uso de variedades adequadas, manejo adequado da cultura e manutenção da fertilidade do solo.

Em relação à fertilidade do solo, é importante caracterizar a aptidão agrícola ou os ambientes de produção para que ações específicas possam ser tomadas, não um único manejo da fertilidade para todas as áreas. Avaliar as características de adequação do solo para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável é primordial, levando em consideração sua produtividade potencial, para fazer as correções e as fertilizações de maneira correta para seu uso racional (MALAVATH; MAHESH; BALAGURUVAIAH, 2018).

O manejo da fertilidade do solo deve buscar a nutrição mais adequada possível para a cultura para cada ambiente de produção. O gerenciamento integrado da fertilidade do solo é um meio de aumentar a produtividade das culturas, maximizando a eficiência agrônômica dos insumos aplicados, contribuindo, portanto, para uma produção mais sustentável (VANLAUWE et al., 2015).

Além de se preocupar com a nutrição adequada visando a aumentar a produtividade, deve-se avaliar a sustentabilidade do ambiente de produção objetivando não exaurir os nutrientes, bem como não degradar a qualidade do solo em médio e longo prazo. Para tanto, deve ser avaliado o balanço de nutrientes no ambiente de produção. Ao incluir os custos exigidos com fertilizantes, a medida de suas respostas permite o cálculo dos retornos econômicos. Balanços de nutrientes calculados em diferentes ambientes fornecem uma visão dos desafios de estabilidade e sustentabilidade que os sistemas agrícolas envolvidos podem sofrer no futuro (KRAAIJVANGER; VELDKAMP, 2015).

Necessidades nutricionais da cultura da cana-de-açúcar

Em razão da sua alta produção de biomassa, a cana-de-açúcar extrai grandes quantidades de nutrientes do solo (MISHRA et al., 2014). Oliveira et al. (2010), avaliando a extração e exportação de macronutrientes por 11 variedades de cana, obtiveram médias de 0,91; 0,13; 1,71; 1,18 e 0,44 kg t⁻¹ acumulado de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Portanto, o acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar mostra necessidade de fertilização adequada para a cultura alcançar altos rendimentos. Além disso, a fertilização representa percentagem significativa dos custos de produção da cultura. Assim, deve ser seguida uma otimização com rigorosos critérios para obter maior produtividade e menor custo de produção (VINICIUS et al., 2017).

A fertilização adequada é uma importante etapa da gestão da produção de cana-de-açúcar, sendo necessário suprir a safra de cana-de-açúcar com os macronutrientes primários (N, P e K) e secundários para garantir boa produtividade e qualidade da matéria-prima. Em estudo realizado por Soomroa et al. (2014) no Paquistão, a fonte mineral de fertilizante (NPK) na taxa de 225-112-168 kg ha⁻¹ provou ser mais eficaz para produzir plantas significativamente mais altas, com maior diâmetro de colmo, mais perfilhos, melhor °brix, maior recuperação de açúcar e rendimento máximo por hectare.

A avaliação da necessidade de N da cultura da cana é difícil porque o fornecimento de N orgânico no solo varia com as mudanças no teor de umidade e temperatura, tipo de fertilizante usado, ocorrência de doenças, pragas, ervas daninhas e práticas de manejo. Assim, as numerosas transformações, especialmente de natureza biológica às quais o N está sujeito, requerem procedimentos adequados de manejo de N no solo, uma vez que mudanças podem levar a uma redução significativa na sua disponibilidade para as plantas (VIEIRA-MEGDA et al., 2015). A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais com a maior demanda por pesquisas sobre cana-de-açúcar, pois estudos com N apresentam resultados variáveis e muitas vezes até contraditórios (SILVA et al., 2019).

Medições do potencial de fornecimento do solo são necessárias para melhorar os sistemas de recomendação de N, que, hoje em dia, se baseia exclusivamente no rendimento esperado (OTTO et al., 2018). Frequentemente as taxas de aplicação seguem as recomendações baseadas em rendimento, desenvolvidas para minimizar o risco de deficiência de N. A prática usual no Brasil é aplicar de 40 a 60 kg ha⁻¹ de N no plantio e reaplicá-lo após cada corte, utilizando uma prática conhecida como adubação de soqueira, que fornece 60 a 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (OTTO et al., 2016). Entretanto, em razão do dinamismo do elemento no solo, seu aproveitamento é geralmente inferior a 50% nos trópicos e em torno de 70% nas regiões temperadas (CASTRO et al., 2017).

Como importante componente macronutriente e estrutural de macromoléculas e trifosfato de adenosina, entre outras funções, o fósforo é considerado elemento essencial para as plantas, estando em baixas concentrações nos solos brasileiros, caracterizados como muito intemperizados, com baixa capacidade de troca catiônica e alta adsorção do íon fosfato pelas argilas de carga variável (SANTOS et al., 2014).

Tanto em experimentos quanto em plantios comerciais de cana-de-açúcar, usualmente são aplicados por volta de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Nos demais casos, a fertilização é feita com base nas características físicas e químicas do solo. Em condições de solos de cerrado, a

dosagem de fósforo também não fica longe dessa recomendação (COSTA et al., 2014; THIAGO et al., 2015).

O potássio (K) é um nutriente essencial que desempenha inúmeras funções nos vegetais, incluindo regulação da pressão do turgor, fotossíntese, atividade estomática, transporte de açúcares, proteína e síntese de amido, e ativação de mais de 60 enzimas (SOOMROA et al., 2014).

As práticas de fertilização com potássio variam amplamente entre as regiões de cultivo de cana-de-açúcar em que o clima e o tipo de solo influenciam nas necessidades desse fertilizante, bem como no momento de sua aplicação (GOPALASUNDARAM; BHASKARAN; RAKKIYAPPAN, 2012). Os parâmetros de produção de cana, ou seja, a altura da cana, o número de perfilhos, produção de caules e o açúcar aumentam progressivamente com a aplicação do NPK (NAWAZ; CHATTHA; CHATTHA, 2016).

A cana-de-açúcar é uma cultura que requer grandes quantidades de nutrientes durante seus diferentes estágios crescimento. Sendo uma cultura de longa duração, com ciclo de um ano no caso da cana-soca e de um ano ou um ano e meio no caso da cana-planta, 125 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar removem 83 kg de N, 37 kg de P₂O₅ e 168 kg de K₂O (CHOHAN et al., 2013). O requerimento de potássio varia entre 130 e 170 kg ha⁻¹ (ALMEIDA et al., 2015; MCCRAY; JI; POWELL, 2017; MCCRAY; POWELL, 2016), podendo, em alguns casos, ultrapassar essa faixa. De acordo com Gopalasundaram, Bhaskaran e Rakkiyappan (2012), doses de 180-190 kg ha⁻¹ K são recomendadas para a cana-de-açúcar, dependendo de sua duração e estado de fertilidade do solo, sendo nos solos tropicais esses requerimentos geralmente maiores que nos solos subtropicais.

Para solos de regiões tropicais com baixos teores de potássio (K), Cavalcante et al. (2015) recomendam a aplicação de 108 kg ha⁻¹ de K₂O para uma colheita de 80 a 100 t ha⁻¹. Observa-se que as recomendações variam entre autores, mas quanto maior a dose, maior a produtividade até certo ponto (dose), dependendo das condições impostas por um conjunto de fatores que controlam a resposta da cultivar.

Dinâmica de nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio no solo

Maximizar a eficiência do uso de nutrientes na agricultura exige o desenvolvimento de estratégias sustentáveis em seu manejo, utilizando formas mais eficientes dos fertilizantes minerais com maior taxa de aproveitamento e reciclagem de resíduos (DUNGAIT et al., 2012).

A compreensão do dinamismo envolvido nas interações dos ciclos de macronutrientes é necessária para evitar o aumento exagerado dos efeitos de um nutriente, durante a restrição dos efeitos de outro, pois a interação que ocorre entre eles pode afetar a assimilação pela planta, casos do cálcio e do potássio (WHITEHEAD; CROSSMAN, 2012). No geral, a expansão da cana-de-açúcar no Brasil promove melhorias na qualidade química do solo, pois, na maioria dos casos, os níveis de fertilização são altos, fornecendo ao solo um balanço positivo de nutrientes ao final do ciclo da cultura. No entanto, a expansão da cana pode ser associada a estratégias de manejo para aumentar a matéria orgânica do solo e melhorar sua fertilidade, reduzindo custos ambientais e econômicos associados à produção de etanol no Brasil (CHERUBIN et al., 2015).

Na agricultura brasileira, a eficiência de uso de nutrientes é alvo de otimização. De acordo com Cunha et al. (2010), o índice de aproveitamento médio de nutrientes foi estimado em 71, 54 e 76,5% para N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, considerando produção das culturas (colheita) e consumo de fertilizantes para diferentes culturas e regiões do país. Esse resultado é mais alto que estimativas anteriores. Historicamente, a cana-de-açúcar mostrou ter baixa eficiência no uso do nitrogênio em comparação com culturas anuais como o milho (*Zea mays*) (OTTO et al., 2016). Segundo esses autores, em condições brasileiras, 32% do N total aplicado anualmente é imobilizado pela biomassa microbiana do solo, 26% é absorvido pela planta, 16% é perdido por volatilização (NH₃), 5,6% é perdido por lixiviação, 1,84% é perdido por desnitrificação e 19%, por outras vias de perda, como NH₃ e N₂O volatilizados pelas folhas. De acordo com Franco et al. (2008), quando se eleva muito a dose de N na cana-planta, tem-se também um aproveitamento menor do nutriente, pois sua recuperação pela planta fica em torno de 30, 30 e 21% para as doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

A eficiência do uso de nitrogênio microbiano descreve o particionamento de N orgânico entre o crescimento e a liberação de N inorgânico para o meio ambiente (mineralização de N), sendo, portanto, parte central para compreensão do ciclo (MOOSHAMMER et al., 2014).

A deposição de N afeta seu comportamento no solo, pois pode alterar vários processos de seu ciclo. O controle desses fatores e processos é complexo e interligado, sendo que apenas um desses fatores alterados pode afetar todo o ciclo do N no solo. Por exemplo, a relação C/N é o fator que controla a fixação biológica de nitrogênio (FBN), decomposição, mineralização e lixiviação de N (ZHU et al., 2015).

O nitrogênio também é ciclado ativamente dentro dos dosséis da vegetação, de modo que o N depositado pode ser absorvido, adsorvido, assimilado pelas plantas ou liberado em solução após interação com a água, ou seja, lixiviado. A água que cai do dossel para o solo integra N a partir dos processos de deposição atmosférica por meio de chuvas ácidas (PONETTE-GONZÁLEZ et al., 2017).

O ciclo do N nos ecossistemas é constituído por três processos: entrada, transformações e saída. Estes processos incluem fixação biológica de N (FBN), decomposição de materiais orgânicos sendo classificados como entradas, mineralização de N, nitrificação e desnitrificação como transformações; volatilização de NH_3 , emissão de N-óxido e lixiviação como perdas (GROENIGEN et al., 2015).

Quanto às entradas, elas são feitas basicamente pela FBN, pela decomposição da matéria orgânica e pela fertilização dos solos. A partir daí o nitrogênio passa pela amonificação e ou pela nitrificação, ficando prontamente disponível às plantas. Se não aproveitado, o nutriente toma outra rota de reação, sendo perdido na forma NH_3 por volatilização, na emissão de N-óxido ou na lixiviação de nitrato (NO_3^-) (GAO et al., 2015).

Outro fator que pode ocorrer é a desnitrificação feita por microrganismos diversos, capazes de reduzir os óxidos de nitrogênio solúveis para os gases N_2O e N_2 , sendo o principal processo biológico responsável pelo retorno de nitrogênio fixado para a atmosfera, completando seu ciclo (PHILIPPOT et al., 2013).

No caso do nitrogênio, a maioria das formas disponíveis deste elemento em solos naturais é produzida pela mineralização de matéria orgânica. Portanto, é razoável supor que qualquer modificação que afete a taxa de decomposição da matéria orgânica também afetará sua disponibilidade. Entre essas possíveis modificações, estão a umidade e a temperatura. Em casos de solos sob florestas, a relação da disponibilidade de N com a umidade e temperatura é ainda maior quando comparada aos solos de usos agrícolas. Porém, pode-se considerar que a temperatura ótima para a mineralização do elemento é de 25°C e a umidade fica na casa dos 80% da capacidade de campo do solo, destacando que a temperatura tem maior influência na mineralização de N do que a umidade (GUNTIÑAS et al., 2012).

Com o manejo agrícola, a estrutura do solo acaba sofrendo alterações, influenciando na maior ou menor capacidade de retenção de água no solo. A umidade associada à temperatura é importante fator a influenciar na velocidade dos processos de nitrificação e desnitrificação. A ocorrência da nitrificação ou da desnitrificação é resultado do nível de oxigênio do solo, assim, com um manejo inadequado, as propriedades físicas (densidade,

porosidade, continuidade de poros, entre outras) do solo acabam sofrendo alterações e podem influenciar no seu teor de umidade e oxigênio no solo e, conseqüentemente, no aumento da produção de N_2O , alterando o N disponível (BUTTERBACH-BAHL et al., 2013) (Figura 1).

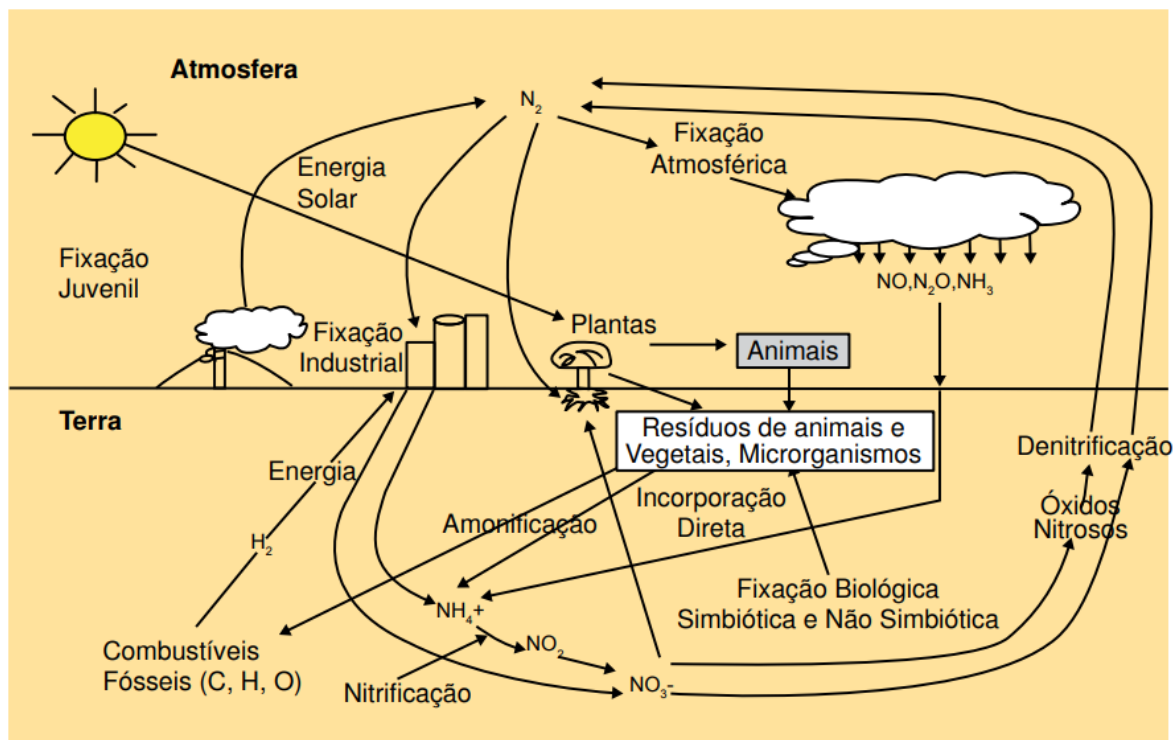


Figura 1 - Ciclo do nitrogênio

Fonte: Gomes et al. (2000).

A Figura 2 mostra o ciclo do fósforo (P) no solo. Uma característica única de P é a sua baixa disponibilidade em razão da lenta difusão e da alta fixação nos solos. Tudo isso significa que o P pode ser um fator de grande limitação para o crescimento das plantas. Manter um nível de fornecimento de P adequado na zona da raiz pode maximizar a eficiência das raízes das plantas para mobilizar e adquirir P da rizosfera por uma integração de estratégias adaptativas morfológicas e fisiológicas radiculares. Além disso, a absorção e utilização de P pelas plantas desempenha papel vital na determinação do rendimento final da colheita (SHEN et al., 2011).

O P no solo ocorre em várias formas químicas de P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po). Estas formas de P diferem em seu comportamento e destino nos solos. O P inorgânico geralmente representa 20% do P total no solo. Latossolos com altos teores de argila localizados na região do Cerrado brasileiro podem adsorver mais de 2 mg cm^{-3} de P, o que equivale a 4.000 kg ha^{-1} de P, ou seja, 9.200 kg ha^{-1} de P_2O_5 incorporados a 0-0,20 m de profundidade (ROSSI et al., 2013). Os minerais de fósforo primários normalmente são

muito estáveis e sua liberação de P por intemperismo é geralmente muito lenta para atender a demanda da safra (BRAOS et al., 2015).

No que se refere à fertilidade do solo, o P apresenta três problemas principais. O primeiro é com relação ao seu baixo teor no solo, geralmente não mais do que 10 a 25%, quando comparado com o nitrogênio, e 5%, quando comparado ao potássio. O segundo problema diz respeito à baixa solubilidade dos compostos de P comumente encontrados nos solos, tornando-o pouco disponível à absorção pelas plantas. E finalmente o terceiro problema diz respeito às mudanças para formas não lábeis (adsorção), quando fontes solúveis de P na forma de fertilizantes e resíduos orgânicos são adicionadas ao solo (MOURA et al., 2015).

Mais de 80% do P aplicado como fertilizante pode ficar indisponível para absorção de plantas logo após a aplicação via adsorção, precipitação (tipicamente pela reação com Al^{3+} e Fe^{3+} em solos ácidos e Ca^{2+} em solos calcários) ou imobilização microbiana (ROBERTS; JOHNSTON, 2015).

Nos solos tropicais muito intemperizados como os Latossolos sob bioma cerrado, um dos principais problemas com fósforo está relacionado à sua perda (fixação) nas adubações com fontes de P solúveis em razão do caráter dreno de P no solo. Isso ocorre pela reação praticamente irreversível (adsorção específica) desse elemento com minerais de argila do tipo sesquióxidos de Fe e Al, que variam com o teor de argila (NOVAIS et al., 2007), tornando o P indisponível (não lábil).

Na colheita da cana sem utilização do fogo, a incorporação da palha aumenta a atividade microbiana e melhora a disponibilidade de nutrientes às plantas. Busato *et al.* (2005), trabalhando com manejos no cultivo da cana-de-açúcar em longo tempo na mesma área, mostraram que a permanência da palhada na área de cultivo possibilitou maior teor de P total, P disponível, P orgânico, P inorgânico e P nas substâncias húmicas.

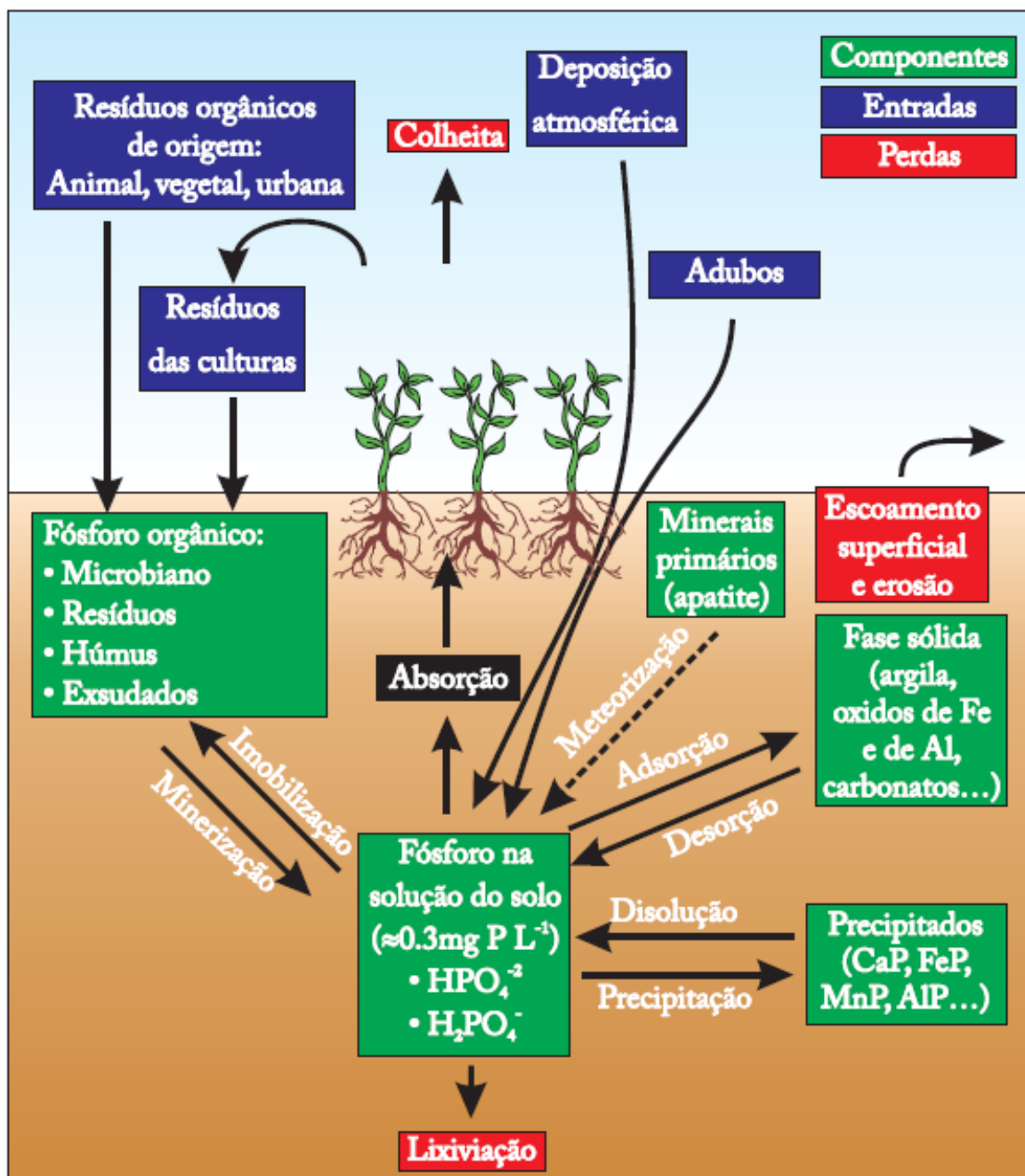


Figura 2 - Ciclo do fósforo
Fonte: Horta; Torrent (2010).

A cana-de-açúcar tem necessidade crescente de metabolizar glicose nos primeiros meses de crescimento. Nesse caso, o potássio é um dos nutrientes mais importantes em seu desenvolvimento, sendo um ativador enzimático no metabolismo das plantas, como na fotossíntese, síntese proteica e translocação de sacarose das folhas para os tecidos de armazenamento. O estudo do potássio na cana-de-açúcar aumentou após a verificação de sua correlação com o teor de sacarose na planta (MEDINA et al., 2013).

Para simplificar o complexo da dinâmica do K no solo, ele é frequentemente classificado em quatro grupos, dependendo de sua disponibilidade para as plantas: solúvel

em água, trocável, não trocável e formas estruturais. O K solúvel em água está diretamente disponível para plantas e microrganismos, além de estar potencialmente sujeito à lixiviação. O K trocável é eletrostaticamente ligado como complexo esfera externa para as superfícies de minerais de argila e substâncias húmicas (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014).

Apesar de a recomendação para a adubação potássica ser baseada, principalmente, no teor de K trocável, duas outras formas de K (K liberado de resíduos de culturas e K não trocável) podem migrar para a solução do solo (Figura 3), contribuindo para a nutrição das plantas, em alguns solos em curto prazo, devem ser consideradas no sistema de produção (ROSOLEM; VICENTINI; STEINER, 2012).

Mais de 90% K do total nos solos provém dos minerais primários mica e feldspato e liberam K a uma taxa muito lenta para satisfazer as necessidades de plantas em crescimento. As formas não trocáveis e estruturais são consideradas fontes de K lentamente disponíveis às plantas. No entanto, esses *pools* também podem contribuir significativamente para o fornecimento de K às plantas em longo prazo. As quantidades de K disponível e não disponível no solo variam grandemente entre tipos de solo, havendo reações de equilíbrio dinâmico entre os diferentes reservatórios de K no solo. Assim, um número de propriedades físicas e químicas do solo, bem como interações solo-planta, e as atividades microbianas afetam a fixação e a liberação de K nos solos (AUGE et al., 2017). No entanto, há evidências de que a disponibilidade das formas não trocáveis de K depende mais da demanda das plantas pelo nutriente do que das propriedades do solo, como textura e mineralogia (KAMINSKI et al., 2010).

O K perdido no solo ocorre principalmente de duas maneiras: lixiviação e erosão. A lixiviação ocorre com maior intensidade em solos de textura mais arenosa, localizados em regiões com elevada precipitação pluviométrica. A erosão também é fator importante de perda de K no solo (YADAV; SIDHU, 2016), principalmente quando a forma de aplicação é a lanço e sem incorporação.

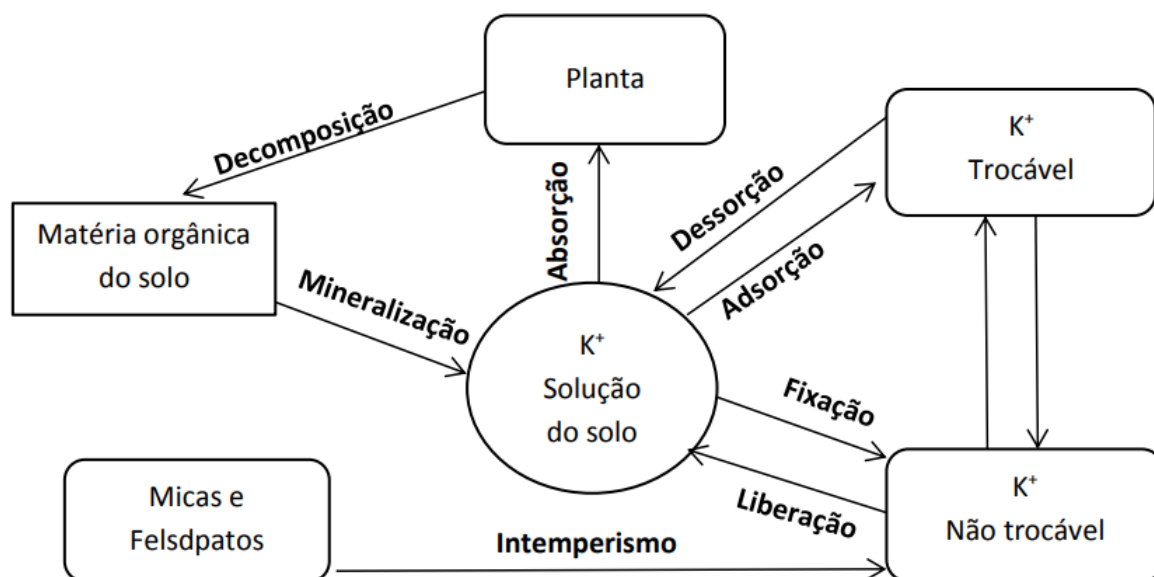


Figura 3 - Ciclo do potássio
Fonte: Seixas; Teixeira (2019)

O manejo do solo com o elemento potássio teve algumas mudanças ao longo do tempo, como, por exemplo, a utilização da vinhaça como parte da fertilização dos cultivos e também a restrição quanto à queima da cana. Schultz *et al.* (2010), trabalhando com diferentes ciclos e manejos da cana-de-açúcar fertilizada com nitrogênio e potássio, indicam que a adubação residual da cana-planta não interfere nos rendimentos da cana-soca e que a adubação com K_2O do KCl juntamente com o suprimento de nitrogênio proporciona maior rendimento de TCH.

Balço de P e K no sistema solo-planta

A intensificação da agricultura para a produção de alimentos, fibras e culturas energéticas afeta os ecossistemas pelo uso de recursos limitados do solo como macronutrientes e micronutrientes, que são necessários para seu funcionamento. O estudo dos sistemas de fertilização é, portanto, essencial para entender o crescimento agrário e o processo de intensificação agrícola. Cálculos dos orçamentos N, P e K podem ser úteis para entender o funcionamento do sistema agrícola e propor estratégias de gestão mais sustentáveis (DELGADILLO-VARGAS; GARCIA-RUIZ; FORERO-ÁLVAREZ, 2016).

Os cinco objetivos gerais que devem ser abordados por sistemas de produção sustentáveis são: suprir as necessidades humanas, melhorar meio ambiente e recursos naturais, aumentando a eficiência de uso de recursos, melhorando a viabilidade econômica da agricultura e melhorando a qualidade de vida dos produtores e da sociedade. Uma

maneira de atingir esses objetivos de sustentabilidade tem sido empregar técnicas integradas de produção agrícola, como implementar um balanço positivo ou igualitário de nutrientes no solo para não exaurir os recursos naturais, além de não contaminar o meio com aplicações demasiadas de nutrientes (WALTERS et al., 2016).

O princípio do balanço de nutrientes é baseado na comparação dos fluxos de entrada e saída de nutrientes no sistema. Estes fluxos devem ser calculados de diferentes formas, desde que sejam consideradas as entradas principais do nutriente no solo (adubação e decomposição). Também, se possível, devem ser quantificadas as perdas dentro do sistema solo (lixiviação e em alguns casos volatilização) e as saídas dos nutrientes pela colheita (extração do nutriente para fora da área anteriormente determinada) (CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2010).

Os balanços de nutrientes do solo refletem a mudança na sua fertilidade e indicam tendências ao longo do tempo, mas não determinam necessariamente o estado atual de fertilidade do solo. Para determinar a gravidade da depleção, os balanços de nutrientes podem estar relacionados a estoques de nutrientes do solo, em que normalmente uma taxa de depleção de mais de 2% ao ano do estoque de nutrientes é considerada insustentável (VAN BEEK et al., 2016).

De acordo com Guareschi et al. (2019), o balanço de nutrientes em alguns países da América Latina e Caribe (ALC) para fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) é negativo, chegando a níveis de depleção de 4832 e 4977 mil toneladas na safra 2014/2015, respectivamente, considerando as principais culturas de cada federação. O Brasil se destaca nessa região com balanços positivos para esses nutrientes, incluindo o nitrogênio. Os autores destacam que as culturas de *commodities* como soja, milho, café, laranja e cana-de-açúcar têm maiores cuidados que as demais, apresentando balanço positivo de nutrientes no solo. As demais culturas são mais dependentes da fertilidade natural, não tendo reposição adequada de nutrientes, o que pode empobrecer o solo e afetar a segurança alimentar no futuro.

O balanço do consumo de nutrientes no Brasil normalmente apresenta resultados bastante satisfatórios quanto ao uso de fertilizantes. Os índices finais de aproveitamento de P_2O_5 e K_2O foram 54,0% e 76,5%, respectivamente, no ano de 2008. Estes números são superiores até aos utilizados como referência para o aproveitamento geral destes nutrientes, que ficam em torno de 30% e 70%, respectivamente (CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2010).

A adoção do sistema de gerenciamento da cana verde com outras práticas de gerenciamento (por exemplo, agricultura de precisão) pode modificar as necessidades

nutricionais da cana-de-açúcar na agricultura moderna em relação à fertilização química. Uma estratégia viável para melhorar o gerenciamento da palhada da cana é aumentar a quantidade de biomassa e de açúcar produzido em relação à fertilização das lavouras, maximizando, assim, a chamada “eficiência fisiológica”, em que passará a ser considerada a recuperação de nutrientes oriundos da palhada (LEITE et al., 2016).

Cultivares de cana-de-açúcar RB92579 e SP801816

Em 2003, sob a responsabilidade do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar-PMGCA, do Centro de Ciências Agrárias, a Universidade Federal de Alagoas liberou a variedade RB92579 para o setor produtivo, obtida e selecionada dentro da logística de uma instituição pública de ensino, pesquisa e extensão (RIDESA, 2010).

A RB92579 tem como principais características excelente produtividade agrícola, ótimo perfilhamento, bom fechamento da entrelinha, ótima brotação das socarias, garantindo longevidade dos canaviais. Tem porte semiereto, com ótima colheabilidade, boa recuperação após períodos de seca, altamente responsiva à irrigação e muito eficiente no uso da água, alta eficiência no uso dos principais nutrientes, ótimo teor de sacarose e maturação média com período de utilização industrial (PUI) longo. É recomendada para colheita do meio para o final de safra. Tem florescimento baixo, é tolerante em relação ao ataque da broca comum, resistente à ferrugem marrom e escaldadura das folhas e moderadamente resistente ao carvão (RIDESA, 2010).

Desde sua liberação, a RB92579 vem apresentando expressivas elevações das áreas colhidas pelas empresas da região em função de suas vantajosas produtividades agroindustriais de 30% a 40% acima das outras que eram mais cultivadas e 60% acima das variedades cultivadas há duas décadas. A variedade de cana-de-açúcar RB92579 é atualmente a mais cultivada no nordeste do Brasil. Destacou-se com produtividade até 30% maior, mas, em geral, apresenta suco escuro devido ao alto teor de fenóis (AZEVEDO et al., 2019).

Na maioria das unidades da região nordeste do Brasil, têm sido observadas elevadas produtividades agrícolas (média acima de 80 t/ha) e elevadíssima produtividade quando sob irrigação plena (média acima de 140 t/ha). Esses resultados com o cultivo da RB92579 têm marcante contribuição para a competitividade de muitas empresas da região. Entre outros exemplos, na usina Agrovale, na Bahia, em área de 60 ha com RB92579 sob irrigação plena, foram obtidas 260 t/ha, um recorde mundial (RIDESA, 2010).

A variedade SP801816 destaca-se pela brotação de soqueira, rápido desenvolvimento vegetativo e porte ereto, sendo excelente opção para o corte mecanizado de cana crua. Apresenta boa resposta à aplicação de maturadores químicos. O perfilhamento é excelente, assim como o fechamento de entrelinhas. Não floresce, o teor de fibra é alto, não apresenta tombamento e a exigência em fertilidade do solo é média. Tem sensibilidade média a herbicidas. A maturação é semiprecoce na cana-planta e um pouco mais precoce na soca, atingindo altos teores de sacarose. Tem resistência intermediária à broca e boa sanidade às outras principais doenças e não tem mostrado os sintomas de amarelecimento (COOPERSUCAR, 2019).

1 **Crescimento, qualidade industrial e balanço de nutrientes de cultivares de cana-de-**
2 **açúcar sob adubação no Cerrado¹**

3 Growth, industrial quality, and nutrient balance of sugarcane cultivars under fertilization in
4 the Cerrado (Brazilian savannah)

5 (Normas de acordo com a revista ciência agrônômica)

6 **Pedro Henrique Martins Cintra^{2*}; Roriz Luciano Machado³**

7
8 **RESUMO** – A aplicação de fertilizantes deve ser feita de forma planejada de modo a garantir
9 o fornecimento adequado de nutrientes. O presente trabalho teve como objetivo avaliar
10 resposta de cultivares de cana-de-açúcar à adição de doses crescentes de NPK em Ceres (GO)
11 em Latossolo Vermelho. Foram utilizados 2 delineamentos experimentais. O primeiro,
12 relativo à fase de crescimento, foi inteiramente casualizado (DIC) em parcela subdividida no
13 tempo 2x4x7, sendo duas cultivares (RB92579, SP801816), quatro doses de adubação (0, 250,
14 500 e 750 kg ha⁻¹ de NPK 05-25-25) e sete épocas de avaliação (a cada 2 meses) com quatro
15 repetições. No segundo (final de ciclo), não houve o fator épocas, configurando um arranjo
16 fatorial 2x4, também com 4 repetições. As variáveis de crescimento foram número de
17 perfilhos (NP), altura de plantas (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas verdes
18 (NF) e número de gemas (NG); e as variáveis de final de ciclo foram tonelada de colmos por
19 hectare (TCH), °Brix, teor de sacarose aparente no caldo (Pol), teor de fibra (TF) e açúcares
20 totais recuperáveis (ATR). Foi avaliado também o balanço de nutrientes para fósforo e

* Autor para correspondência

¹ Parte da Dissertação do primeiro autor, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado – Instituto Federal Goiano - Campus Ceres.

² Discente do Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Ceres, Goiás, Brasil, Rua Jaraguá, s/n, Quadra 29, Lote 29A, CEP: 76350-000, Rubiataba-GO, Brasil, pedrocintra.agro@gmail.com.

³ Orientador e docente do Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Ceres, Goiás, Brasil, roriz.machado@ifgoiano.edu.br.

21 potássio no solo e na lavoura. As variáveis de crescimento NP e AP apresentaram interação
22 cultivar x adubação significativa. Para as interações cultivar x épocas e adubação x épocas,
23 todas as variáveis de crescimento foram significativas. Para variáveis de final de ciclo, apenas
24 TCH não teve interação significativa para cultivar x adubação, bem como para os fatores
25 isolados. A cultivar RB92579 respondeu linearmente às doses de NPK para as variáveis NP e
26 AP. A SP801816 teve ajuste quadrático para AP e não se ajustou aos modelos testados para
27 NP, DC e NG. NF e NG se ajustaram para doses (fator isolado) ao modelo quadrático. Na
28 interação cultivar x época, a cultivar RB92579 teve ajuste ao modelo linear para AP e NG,
29 cúbico para NP e NF e quadrático para DC. A cultivar SP801816 respondeu de forma linear
30 para NP, AP e NG, quadrática para DC e cúbica para NF. Para as variáveis de final de ciclo, a
31 adubação influenciou no °Brix, Pol, TF e ATR. Para RB92579, a resposta foi linear para Brix,
32 Pol e ATR, não tendo ajuste para TF. A cultivar SP801816 se ajustou (linear) apenas para TF.
33 O perfilhamento máximo ocorreu aos 150 dias após plantio (DAP) na cultivar RB92579 e foi
34 linear para SP801816. A extração de P pelos colmos aumentou até a dose de 500 kg ha⁻¹ para
35 ambas as cultivares, e para potássio, até as doses de 500 e 750 kg ha⁻¹ de NPK 5-25-25 para
36 SP801816 e RB92579, respectivamente. As doses de máxima eficiência técnica de NPK 05-
37 25-25 para as cultivares RB92579 e SP801816 variam de 455,6 a 750 e 442,7 a 750 kg ha⁻¹,
38 respectivamente. A cultivar RB92579 apresenta maior (9,7%) produtividade (TCH) que a
39 SP801816. Doses a partir de 500 kg ha⁻¹ apresentam balanço positivo para K e P,
40 respectivamente, para cana-planta não afetando as reservas desses nutrientes no solo nas
41 condições do estudo.

42 **Palavras Chave:** Fertilidade. Nutrição de plantas. *Saccharum officinarum*. Balanço
43 nutricional.

44 **ABSTRACT** - The fertilizer application must be done in a planned manner to ensure a
45 nutrient appropriate supply. This paper aimed to evaluate the response of sugarcane cultivar to

46 the addition of increasing NPK doses in Oxisol, in Ceres municipality, Goiás State (GO),
47 Brazil. Two experimental designs were used. The first experiment related to the growth phase
48 was in completely randomized design (CRD) in 2x4x7 split-plot scheme with two cultivars
49 (RB92579 and SP801816), four fertilizer NPK 05-25-25 doses (0, 250, 500, and 750 kg ha⁻¹)
50 in seven evaluation periods (every two months) with four replicates. In the second experiment
51 (end-cycle), there was no period factor, setting a 2x4 factorial arrangement, also with four
52 replicates. The growth variables were: (a) number of profiles (NP); (b) plant height (PH); (c)
53 culm diameter (CD); (d) number of green leaves (GL); and (e) number of buds (NB). The
54 end-cycle variables were: (a) ton of culms per hectare (TCH); (b) °Brix; (c) apparent sucrose
55 content in the broth (Pol); (d) fiber content (FC); and (e) total recoverable sugars (TRS). The
56 phosphorus and potassium nutrient balance in the soil and in the crops was also evaluated.
57 The NP and PH growth variables showed significant interaction for cultivar x fertilizer. All
58 growth variables had significant interactions between cultivar/period and fertilization/period.
59 For the end-cycle variables, only the TCH showed no significant interaction between
60 cultivar/fertilization as well as for isolated factor involved. The RB92579 cultivar responded
61 linearly to NPK doses for NP and PH variables. The SP801816 cultivar had linear adjustment
62 for NB and CD, quadratic adjustment for PH, and had not adjustment to the models tested for
63 NP. The SP801816 cultivar had a quadratic adjustment for NP and had not adjustment to the
64 models tested for NP, CD, and NB. GL and NB had adjusted for doses (isolated factor) to the
65 quadratic model. In the cultivar x period interaction, the RB92579 cultivar had adjustment to
66 the linear model for PH and NB, to cubic model for NP and GL, and to quadratic model for
67 CD. The SP801816 cultivar responded to linear model for NP, PH, and NB, to quadratic
68 model for CD, and to cubic model for GL. For the end-cycle variables, fertilization influenced
69 the °Brix, Pol, FC, and TRS. For the RB92579 cultivar, the response was linear for °Brix, Pol,
70 and TRS with no adjustment for FC. The SP801816 cultivar was adjusted (in a linear way)

71 only for FC. Maximum tillering occurred at 150th day after planting (DAP) in the RB92579
72 cultivar and was linear for SP801816 cultivar. The P extraction by culms increased up to the
73 500 kg ha⁻¹ dose for both cultivars, and potassium extraction by culms increased up to the 500
74 and 750 kg ha⁻¹ of NPK 5-25-25 dose for SP801816 and RB92579 cultivars, respectively. The
75 maximum technical efficiency of NPK 05-25-25 doses for the RB92579 and SP801816
76 cultivars vary from 455.6 to 750 and 442.7 to 750 kg ha⁻¹, respectively. The RB92579 cultivar
77 showed higher yield (9.7%-TCH) than SP801816 cultivar. Doses from 500 kg ha⁻¹ showed a
78 positive balance for K and P, respectively, for sugarcane plant, not affecting the reserves of
79 these nutrients in the soil under this study conditions.

80 **Key words:** Fertility. Plant nutrition. *Saccharum officinarum*. Nutritional balance.

81

82

INTRODUÇÃO

83 A região Centro-Oeste do Brasil apresenta há alguns anos processo significativo de
84 expansão da área de cana-de-açúcar para atender a demanda de produção de açúcar e etanol
85 (BERNARDO *et al.*, 2019). O estado de Goiás destaca-se no cenário nacional com um
86 crescimento de 220% na produção de etanol e de mais de 110% na área plantada com cana-
87 de-açúcar nas últimas seis safras. Desse total, o Vale do São Patrício, localizado no Centro
88 Norte do estado de Goiás, concentra cerca de 30% de toda a área plantada do estado. Região
89 tradicional de pequenos produtores dedicados à produção de grãos e pecuária, o Vale vem
90 mudando nos últimos anos sua principal atividade agropecuária, pois tem seis usinas em
91 funcionamento, todas em processo de crescimento (ÁVILA; ÁVILA; ALTAFIN, 2011).

92 Com essa demanda crescente de matéria-prima, a otimização das produções deve ser
93 prioridade, com seleção de cultivares adaptadas. Apesar de o potencial biológico de uma
94 variedade de alto rendimento ser inerente a seu material genético, para explorá-lo em
95 condições de campo, um pacote adequado de insumos e práticas culturais deve ser adotado

96 em condição agrícola específica, como, por exemplo, a fertilização e irrigação adequadas
97 (HUSSAIN *et al.*, 2017).

98 De acordo com Sedyama *et al.* (2009), trabalhos objetivando quantificar os nutrientes
99 removidos na colheita pelas culturas são de grande valia para determinar a quantidade
100 necessária de nutrientes a serem recomendados nos ciclos seguintes das culturas. No caso da
101 cana-de-açúcar, é sempre necessário levar em consideração a idade da lavoura (cana-planta/
102 cana-soca).

103 Em média, valores de 179, 25, 325, 226 e 87 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg,
104 respectivamente, são atribuídos à extração pela cultura, o que proporciona a seguinte ordem
105 decrescente de utilização: K > Ca > N > Mg > P. A exportação média de N, P, K, Ca e Mg
106 pelo colmo da cana-de-açúcar fica em torno de 92, 15, 188, 187 e 66 kg ha⁻¹, o que
107 corresponde, respectivamente, a 51, 60, 58, 83 e 76 % dos nutrientes extraídos na parte aérea
108 da cana-planta (OLIVEIRA *et al.*, 2010). De acordo com Chohan *et al.* (2013), na cultura da
109 cana-de-açúcar, para uma produtividade de 125 t ha⁻¹, são removidos, em média, 83 kg de N,
110 37 kg de P₂O₅ e 168 kg de K₂O.

111 Atualmente a colheita verde é estimada em 90% da cana colhida na região centro sul do
112 Brasil. A quantidade de palhada gerada pela colheita de cana-de-açúcar verde pode variar de
113 10 a 20 t ha⁻¹ de matéria seca, e tem o potencial de aumentar o conteúdo de matéria orgânica e
114 liberar nutrientes para o solo (FERREIRA *et al.*, 2016). Desta forma, a palha pode devolver P
115 e K entre outros nutrientes, aumentando as entradas, e com isso, o balanço, o que possibilita a
116 diminuição da dose de adubação via fertilização mineral.

117 O balanço de nutrientes é um importante indicador de sustentabilidade da agricultura, o
118 qual contabiliza a relação de entrada (adubação, correção do solo e fixação biológica de
119 nitrogênio) e saída (extração de nutrientes pelas partes colhidas; perdas). Desta forma, ele
120 pode demonstrar se as adubações e calagens estão sendo capazes de suprir as quantidades de

121 nutrientes que deixam o sistema na colheita, ou se os cultivos estão complementando suas
122 exigências nutricionais com a FBN ou com outras fontes, como o solo, reduzindo sua
123 fertilidade (GUARESCHI et al., 2019). Na região do Vale do São Patrício (microrregião
124 Ceres), essas informações são escassas e sua disponibilidade pode contribuir para o uso mais
125 sustentável do solo, justificando esse trabalho.

126 Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento, a qualidade industrial e o
127 balanço nutrientes do solo e da lavoura de duas variedades de cana-de-açúcar submetidas à
128 adubação no cerrado central de Goiás.

129

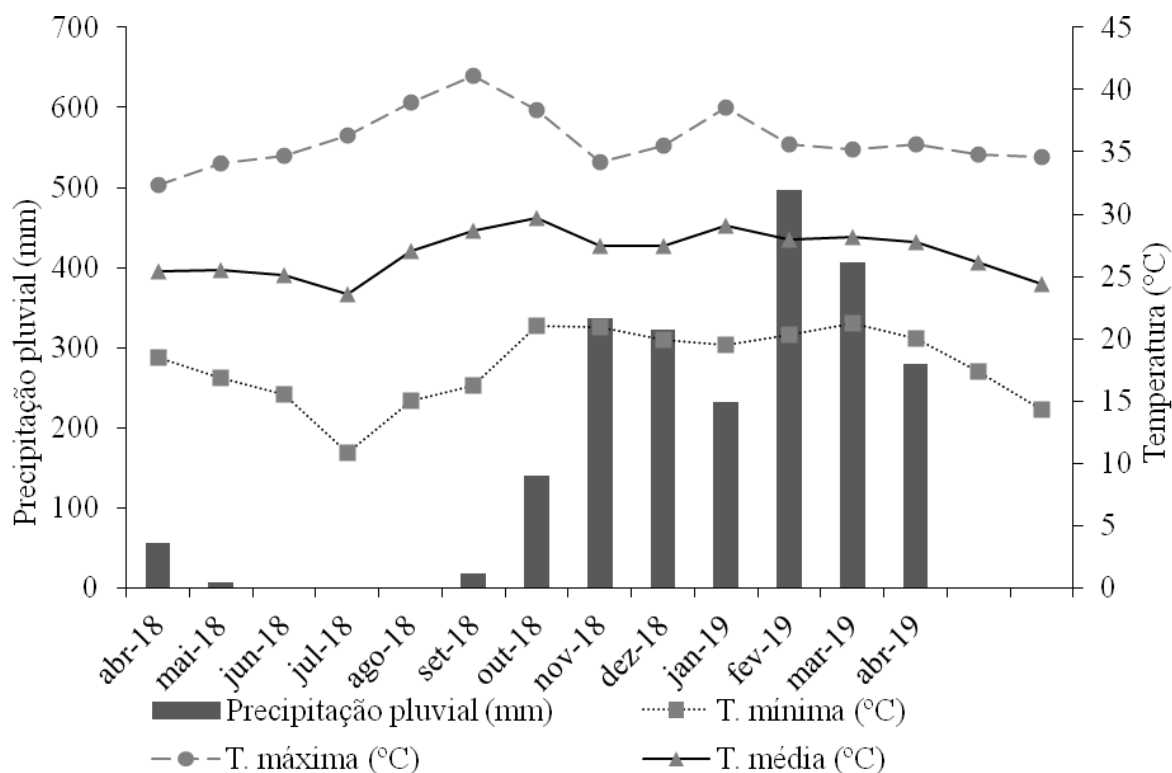
130

MATERIAL E MÉTODOS

131 O trabalho foi conduzido na Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar, área oriunda da
132 parceria entre o Instituto Federal Goiano – Campus Ceres e a usina CRV Industrial de Carmo
133 do Rio Verde (GO), pertencente ao grupo Japungú do estado da Paraíba. O experimento de
134 crescimento e qualidade industrial foi conduzido no período de 8 de abril de 2018 a 20 de
135 junho de 2019, e em seguida, o experimento de balanço nutricional, no período de 17 de
136 outubro de 2019 a 17 de janeiro de 2020.

137 A área está compreendida nas coordenadas geográficas latitude 15°20'46" Sul,
138 longitude 49°36' 50" Oeste e 561 m de altitude. O clima do local é classificado como Aw no
139 Sistema Internacional de Köppen, com verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco. Os
140 valores de precipitação pluvial, temperatura máxima, mínima e média do primeiro e segundo
141 período são apresentados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

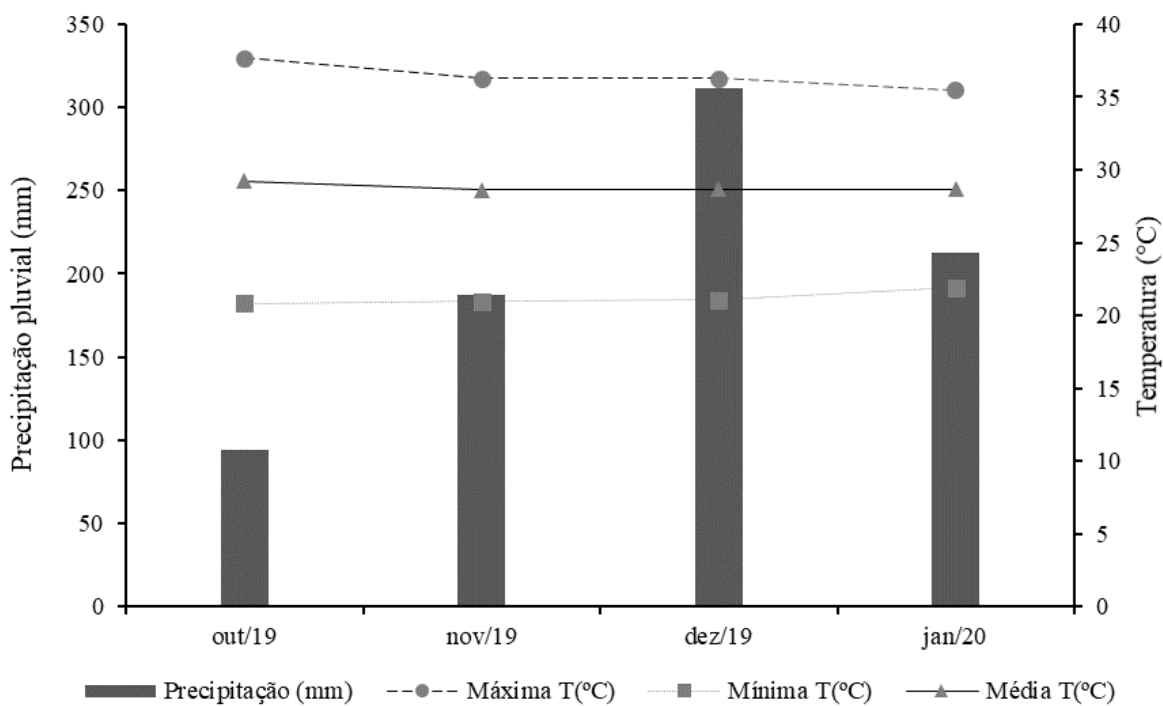
142 **Figura 4** - Precipitação pluvial, temperatura mínima, máxima e média, durante o período de
143 08/04/2018 a 20/06/2019, na Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar em Ceres-GO



144

145 **Figura 5** - Precipitação pluvial, temperatura mínima, máxima e média, durante o período de

146 17/10/2019 a 17/01/2020, na Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar em Ceres-GO



147

148 No período experimental de crescimento e qualidade tecnológica, houve uma

149 precipitação de 2296,13 mm (dados não consistidos). Já no experimento de balanço

150 nutricional de fósforo e potássio, a precipitação foi de 805,78 mm (dados não consistidos).
 151 Para caracterização química do solo, foram coletadas amostras de solo deformadas na camada
 152 de 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m de profundidade, cujos resultados estão na Tabela 1.

153 **Tabela 1** - Resultados da análise química e física de amostras de solo da área experimental na
 154 profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade

Profundidade (cm)	Ca	Mg	Al	H+Al	K	Areia	Silte	Argila
cmol _c dm ⁻³g kg ⁻¹		
0-0,20	3,50	1,50	0	2,15	0,130	346,3	175,2	478,5
0,20-0,40	3,05	1,30	0	1,55	0,095	318,1	169,4	512,5
	Ca/Mg		Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC		K/CTC	
%							
0-0,20	2,32		47,99	20,58	29,63		1,79	
0,20-0,40	2,34		50,88	21,68	25,85		1,58	
	P _{Mehlich}	K	MOS	C	pH _{CaCl2}	V%	CTC	
mg dm ⁻³g kg ⁻¹		-	%	cmol _c dm ⁻³	
0-0,20	3,2	66,20	18,00	10,44	5,55	70,37	7,28	
0,20-0,40	2,9	38,00	15,50	8,99	5,65	74,14	5,99	

155
 156 O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em parcela
 157 subdividida no tempo 2x4x7, para as variáveis de crescimento, e 2x4 para as variáveis de final
 158 de ciclo, sendo duas cultivares de cana-de-açúcar (RB92579, SP801816), 4 doses de adubação
 159 (0, 250, 500 e 750 kg ha⁻¹) da formulação NPK 05-25-25 e 7 épocas de avaliação (60, 120,
 160 180, 240, 300, 360 e 420 DAP), com quatro repetições.

161 O real fornecimento de nutrientes para cada uma das cultivares equivaleu a 12,5 kg
 162 ha⁻¹ de N, 62,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 62,5 kg ha⁻¹ de K₂O; 25 kg ha⁻¹ de N, 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e
 163 125 kg ha⁻¹ de K₂O; 37,5 kg ha⁻¹ de N, 187,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 187,5 kg ha⁻¹ de K₂O,
 164 respectivamente, para as doses de 250, 500 e 750 kg ha⁻¹ da formulação NPK 05-25-25.

165 As parcelas experimentais foram compostas por 10 fileiras de cana-de-açúcar com
 166 espaçamento de 1,50 m e 100 metros de comprimento (10 linhas x 100 m), totalizando 1500
 167 m². A parcela útil foi composta por 4 fileiras centrais de 2 metros lineares, totalizando 8 m
 168 lineares ou 12 m².

169 O preparo do solo foi do tipo convencional, com duas gradagens pesadas para
170 destruição de soqueiras (reforma), seguidas de subsolagem. Após a primeira gradagem, foi
171 feita a correção de solo, com aplicação de 3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT 95% e
172 1,13 t ha⁻¹ de gesso agrícola. O sulcamento foi feito a 25 cm na véspera do plantio, sendo
173 semimecanizado e de forma vegetativa no dia 8 de abril de 2018, com densidade média de 18
174 gemas por metro.

175 Foi feita aplicação de lâmina de irrigação de 60 mm via carretel de aspersão da marca
176 IrrigaBrasil, modelo GSV/350, parcelada em duas vezes na área. A primeira aplicação foi de
177 40 mm aos 60 DAP (junho/2018) e a segunda, de 20 mm aos 150 DAP (setembro/2018). Em
178 ambos os casos, foram aferidas as uniformidades de aplicação pelo método do Coeficiente de
179 Uniformidade de Christiansen (CUC). Dessa maneira, foram encontrados valores de
180 uniformidade de 69,27 e 62,34% para as lâminas de 40 e 20 mm, respectivamente.

181 **Crescimento e qualidade industrial**

182 A partir dos 60 DAP, foram analisados os seguintes parâmetros com intervalos de 60
183 dias até a colheita (438 DAP): número de perfilhos (quantidade/metro), altura de plantas,
184 diâmetro do colmo, número de folhas verdes e número de gemas. Ao final do ciclo, foram
185 avaliados os atributos °Brix, Pol, teor de fibra, açúcares totais recuperáveis (ATR) e
186 produtividade (tonelada de colmos por hectare -TCH).

187 As avaliações de altura de plantas, diâmetro de colmos, número de folhas e número de
188 gemas foram feitas nas cinco plantas mais desenvolvidas na área útil. A população de
189 perfilhos foi avaliada em cada período pela contagem do número de plantas contidas em 2 m
190 lineares de cada parcela, de acordo com Aquino & Medina (2014). O diâmetro do colmo foi
191 determinado com o auxílio de paquímetro na altura mediana do colmo (entre o 1° e 2° terços),
192 conforme Oliveira *et al.* (2014). Para altura de plantas, mediu-se a distância da superfície do
193 solo até a última região auricular visível da folha +1 (COSTA *et al.*, 2011).

194 O °Brix, Pol, teor de fibra e o ATR foram determinados no laboratório de análises
195 agroindustriais da usina CRV Industrial. A TCH foi determinada multiplicando o peso da
196 fitomassa da parte aérea (colmos) em 1 metro linear pelo comprimento total das linhas de
197 plantio em um hectare (COSTA *et al.*, 2011).

198 Os resultados foram submetidos às análises de pressuposições da análise de variância
199 (normalidade e homogeneidade), análise de variância (ANOVA), e aos tratamentos
200 significativos para doses de NPK e épocas de avaliação, foi aplicada a análise de regressão,
201 utilizando o programa estatístico Sisvar.

202 **Balanço nutricional de fósforo e potássio**

203 Para o cálculo do balanço de P e K no sistema, avaliaram-se duas situações. A primeira,
204 como sendo “balanço no solo”, contabilizando o P e o K disponíveis no solo na camada de 0
205 a 0,2 m de profundidade no início do experimento, a quantidade destes elementos disponíveis
206 na mesma camada logo após a colheita dos colmos, bem como os teores devolvidos ao
207 sistema após três meses de decomposição da palhada (janeiro de 2020). Utilizou-se a equação
208 adaptada por Ferreira *et al.* (2011).

$$209 \text{ Balanço no solo} = (N_f + N_{\text{palha}}) - (N_i)$$

210 Em que N_i = K e P no solo antes da implantação do experimento; N_{final} = K e P no solo
211 após a colheita, sendo considerado até 0,20 m de profundidade; e N_{palha} teor de K e P
212 liberado/adsorvido pela palhada após três meses de decomposição.

213 Na segunda situação, denominada de “balanço na lavoura”, foram contabilizados como
214 entrada o K e o P advindos da adubação e como saída, o K e o P exportados pela colheita dos
215 colmos de acordo com a seguinte equação:

$$216 \text{ Balanço na lavoura} = (N_a) - (N_{\text{exp}})$$

217 Em que N_a = K e P fornecidos via adubação; e N_{exp} = K e P exportados pelos colmos
218 após a colheita (junho de 2019).

219 Foram feitas análises de fósforo (P) e potássio (K) de amostras de solo antes da
220 implantação (abril de 2018) e depois da colheita (outubro de 2019), extrapolando o resultado
221 para o valor disponível de cada nutriente para kg ha^{-1} , e análise de colmo e palha após colheita
222 do experimento. A amostragem de solo foi feita em triplicata (composta) em cada repetição
223 do experimento e analisada de acordo com Donagema *et al.* (2011). A amostragem de colmo
224 foi feita a partir de seis toletes de 15 cm retirados de duas canas de cada repetição, referente às
225 partes basal, central e superior da planta, desprezando a porção contaminada com solo. Os
226 toletes foram secos e moídos em moinho tipo willey com peneira de 1 mm e determinado o
227 teor de nutrientes contido nos colmos.

228 Após estas avaliações, as amostras de palha foram acondicionadas em bolsas de nylon
229 denominadas “litter bags” de $0,06 \text{ m}^2$ (0,30 m x 0,20 m), conforme Santana *et al.* (2011), com
230 quantidade proporcional de palha (pré-seca a $65 \text{ }^\circ\text{C}$) produzida por cada unidade
231 experimental, conforme avaliação feita previamente, utilizando quantidade equivalente por
232 hectare. As bolsas de nylon foram depositadas em contato direto com a superfície do solo da
233 respectiva parcela, e a palha utilizada para seu enchimento foi a mesma palha cortada pela
234 colhedora, simulando, assim, o tamanho natural dos fragmentos obtidos durante a colheita da
235 cultura.

236 Os *litter bags* foram acondicionados no campo no dia 17 de outubro de 2019 e, ao final
237 do terceiro mês de decomposição (17 de janeiro de 2020), eles foram recolhidos, coletada a
238 massa fresca de cada bolsa, lavada em água sobre peneira e determinada a massa pré-seca
239 (65°C). Em seguida, o material foi moído em peneira de 1 mm e analisado conforme
240 metodologia de Silva (2009) para tecidos vegetais.

241 As quantidades dos nutrientes contidos na palhada (kg ha^{-1}) foram obtidas com base no
242 total da matéria pré-seca produzida e no teor do nutriente determinado na palhada,
243 extrapolando os resultados para kg ha^{-1} . Utilizou-se a seguinte equação:

$$N_{\text{palha}} = (N_i) - (N_f)$$

Em que N_i = teor dos nutrientes na palhada (palha + ponteiros + colmos não colhidos) antes da decomposição; e N_f = teor dos nutrientes na palhada (palha + ponteiros + colmos não colhidos) pós a decomposição. Ao final do ciclo da cultura, foi feito o balanço total de P e K, considerando todos esses parâmetros durante seu cultivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA) para os atributos de crescimento. Para as variáveis número de perfilhos e altura de plantas, verificou-se que a interação cultivar x adubação foi significativa ($p < 0,05$). Para as interações cultivar x época e época x adubação, todas as variáveis apresentaram diferenças estatísticas ($p < 0,01$) nos tratamentos estudados. Para a interação cultivar x adubação x época, houve diferenças significativas para todas as variáveis, exceto para número de perfilhos. Para os fatores isolados, somente DC não foi significativo para cultivares, e NP e DC para adubação.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos de crescimento de cultivares de cana-de-açúcar irrigadas sob diferentes doses de adubação NPK no cerrado

FV	GL	Nº de perfilhos	Altura de planta	Diâmetro do colmo	Nº de folhas	Nº de gemas
CV	1	1458,09*	68300,01**	3,32 ^{ns}	11,16*	35,20*
Resíduo a	3	46,89	87,26	10,53	0,54	2,51
AD	3	202,37 ^{ns}	5396,73**	21,66 ^{ns}	4,76**	14,46*
CV x AD	3	268,12*	1732,18*	25,55 ^{ns}	0,54 ^{ns}	4,16 ^{ns}
Resíduo b	9	58,36	322,13	7,02	0,27	2,10
EP	6	166,02**	644341,15**	1725,94**	85,37**	2070,1**
CV x EP	6	180,46**	622,60**	26,75**	2,17**	17,10**
EP x AD	18	27,71*	649,74**	8,94**	1,51**	3,88**

CV x AD x EP	18	17,17 ^{ns}	785,59 ^{**}	9,81 ^{**}	1,16 ^{**}	2,60 [*]
Resíduo c	156	16,53	105,19	3,90	0,44	1,38
Total corrigido	223	-	-	-	-	-
CV% parcela	-	54,11	5,94	13,34	11,53	21,26
CV% subparcela	-	60,37	11,42	10,90	8,12	19,47
CV% sub-subparcela	-	32,13	6,53	8,12	10,45	15,79

259 Fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), cultivar (CV), adubação (AD), época (EP),
 260 interação cultivar x adubação (CV x AD), interação cultivar x época (CV x EP), interação
 261 época x adubação (EP x AD), interação cultivar x adubação x época (CV x AD x EP).
 262 Coeficiente de variação (CV%), ^{**}Significativo a 1%, ^{*}significativo a 5% e ^{ns}não
 263 significativo

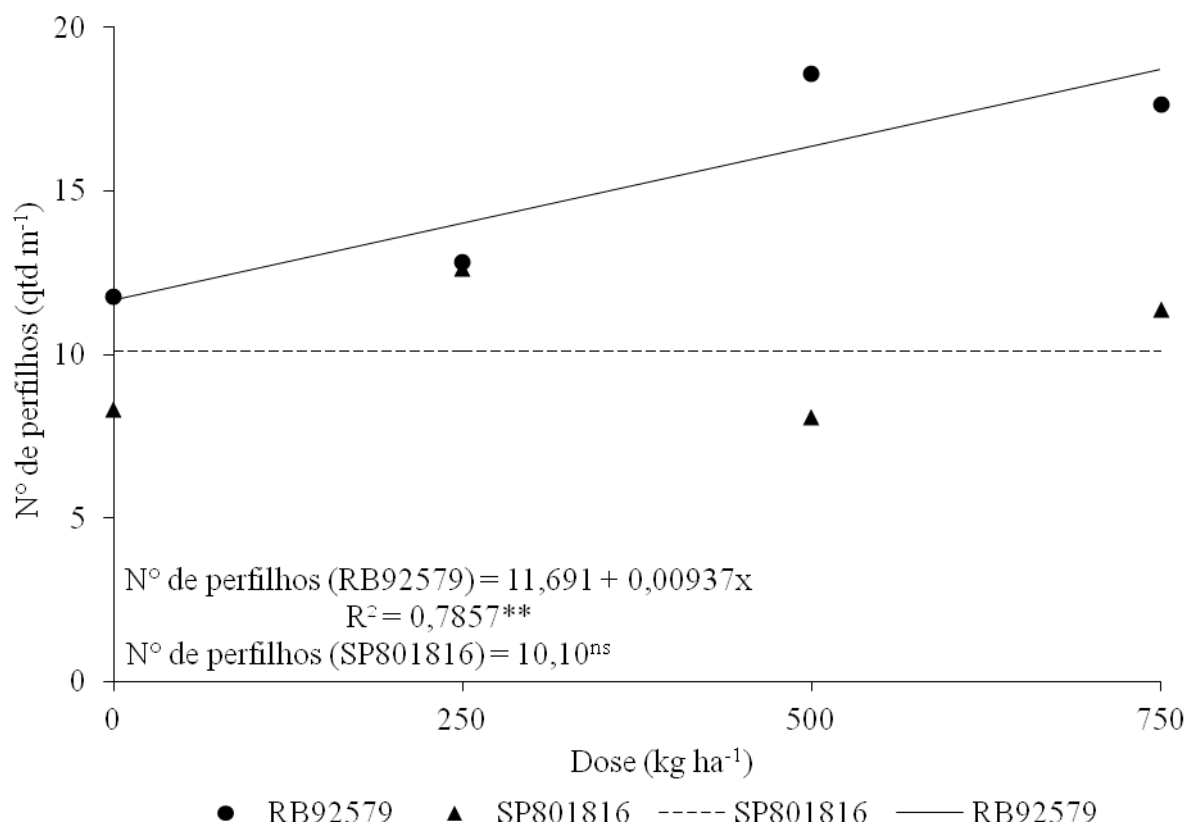
264 A seguir são discutidas as interações para cultivar x adubação e cultivar x épocas de
 265 avaliação para variáveis de crescimento, bem como fatores isolados cultivar e adubação
 266 (significativos) para variáveis sem interação significativa. A variável número de perfilhos
 267 apresentou resposta linear crescente para doses de NPK para a cultivar RB92579 (Figura 6).
 268 Essa cultivar apresentou perfilhamento crescente para doses de NPK. Já a cultivar SP801816
 269 não se ajustou aos modelos linear e quadrático, mas pode se ajustar a outros modelos em
 270 razão de o desvio da regressão ter sido significativo, apresentando média dos tratamentos de
 271 10,10 perfilhos por metro.

272 O maior perfilhamento da cultivar RB92579 pode ser justificado por características
 273 próprias do material genético, como, por exemplo, maior reserva de sacarose nos colmos
 274 utilizados no plantio, possibilitando maior vigor às brotações. Silva; Jeronimo; Lúcio (2008)
 275 afirmam que, nos primeiros 30 DAP, quando ocorrem a emissão de raízes de fixação e a
 276 brotação de gemas, a cana-planta utiliza a reserva de nutrientes do tolete para sobreviver.
 277 Segundo esses autores, a partir deste ponto, inicia-se o desenvolvimento radicular dos

278 perfilhos primários, depois dos secundários e, assim, sucessivamente, quando as raízes de
 279 fixação perdem sua função, e a cana-planta passa a ser independente.

280

281 **Figura 6** - Número de perfilhos (quantidade m^{-1}) das cultivares de cana-de-açúcar RB92579 e
 282 SP801816 em função de diferentes doses de adubação NPK 5-25-25



283

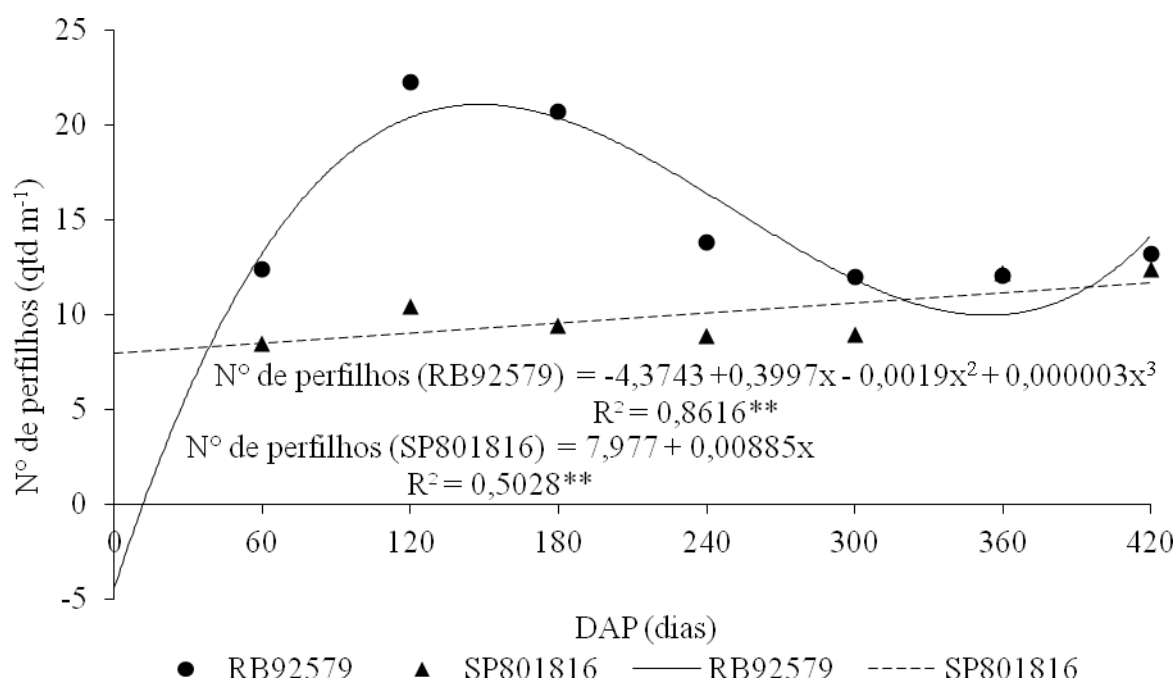
284 Analisando o perfilhamento das duas cultivares em relação às épocas de avaliação,
 285 verificou-se que a cultivar RB92579 ajustou-se ao modelo polinomial de terceira ordem
 286 (Figura 7), atingindo o máximo perfilhamento por volta de 150 dias. A partir desse período,
 287 ocorreu decréscimo no perfilhamento, o que pode estar relacionado ao período de seca
 288 (setembro), com precipitação acumulada de apenas 22,145 mm, influenciando a competição
 289 intraespecífica.

290 Silva *et al.* (2015), trabalhando com a cultivar RB855453 de cana-de-açúcar em
 291 Latossolo Vermelho distroférico na região de Rio Verde – GO, relataram que o

292 perfilhamento inicial da cana-de-açúcar foi uniforme e constante até alcançar o pico máximo
 293 de perfilhos, seguido por um período de senescência de parte deles.

294 O perfilhamento excessivo no caso da cana-de-açúcar resulta em maior concorrência e,
 295 conseqüentemente, em maior mortalidade. A senescência dos perfilhos é sensível à luz e
 296 pode-se esperar que seja parcialmente impulsionada pelo estado do dossel existente, ou seja,
 297 quanto maior o perfilhamento maior será a competição e, conseqüentemente, a mortalidade
 298 dos perfilhos mais frágeis (VASANTHA; GUPTA; SHEKINAH, 2014).

299 **Figura 7** – Média de número de perfilhos das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-
 300 açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK em sete épocas de avaliação

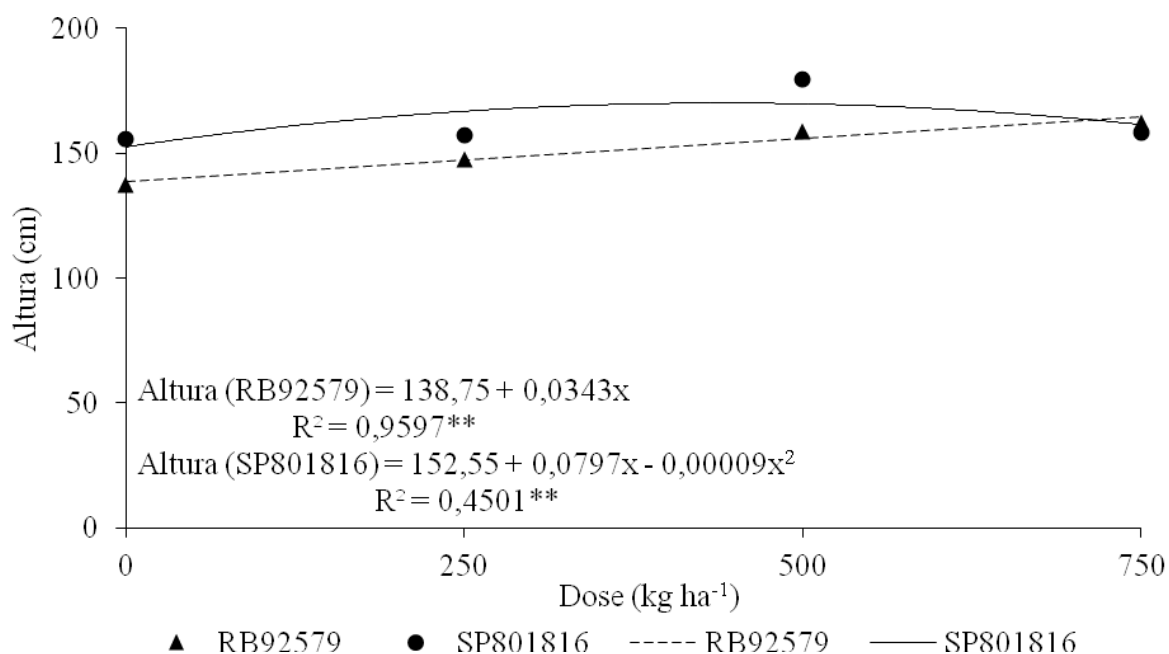


301

302 Para a cultivar SP801816, ocorreu ajuste linear quanto ao perfilhamento em relação às
 303 épocas de avaliação (Figura 7). Nessa cultivar, a quantidade de perfilhos foi menor que na
 304 cultivar RB92579, apresentando também baixa taxa de perfilhamento, o que manteve a
 305 quantidade de perfilhos pouco alterada ao longo do tempo. Isso pode ter contribuído para
 306 menor competição entre plantas e ausência ou baixa mortalidade de perfilhos no período de
 307 150 DAP a 360 DAP como visto para a cultivar RB92579.

308 Em relação à altura de plantas, a cultivar RB92579 se ajustou ao modelo linear e a SP
 309 801816, ao quadrático em função das doses de NPK testadas (Figura 8). Essa última cultivar
 310 foi levemente superior à primeira com máxima resposta (170,19 cm) na dose de 442,7 kg ha⁻¹
 311 de NPK. O incremento em altura resultante da adição de doses crescentes de NPK foi de
 312 18,52 e 11,6% para as cultivares RB92579 e SP801816, respectivamente, em relação à
 313 testemunha.

314 **Figura 8** - Altura de plantas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar sob
 315 diferentes doses de adubação NPK 5-25-25

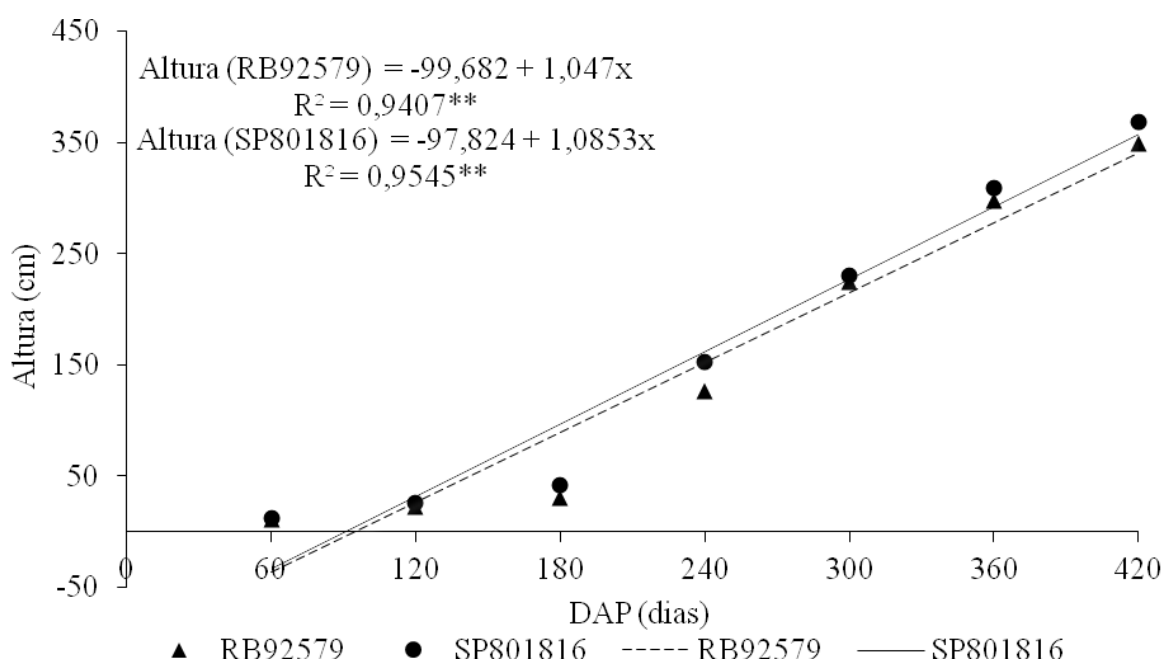


316

317 Avaliando o atributo altura de plantas em relação a épocas de avaliação, verificou-se
 318 que as duas cultivares se ajustaram ao modelo linear (Figura 9). Com isso, a altura máxima foi
 319 observada na última avaliação (420 DAP), o que é comum ocorrer quando o plantio se dá no
 320 final do período chuvoso em razão da restrição hídrica até aos 180 DAP, seguido de fase de
 321 estímulo ao crescimento pelo fato de as condições climáticas (umidade, temperatura e
 322 fotoperíodo) se tornarem cada mais favoráveis com o início do período chuvoso a partir de
 323 outubro/novembro.

324 A cultivar SP801816 mostrou pequena superioridade em relação à cultivar RB92579
 325 para altura de plantas desde as primeiras avaliações, persistindo assim até a colheita do
 326 experimento. Plantas de maior altura tendem a produzir mais, sendo, entretanto, mais
 327 suscetíveis ao acamamento, característica desvantajosa para a colheita mecanizada
 328 (EVANGELISTA et al., 2013).

329 **Figura 9** – Altura média de plantas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar
 330 submetidas a diferentes doses de adubação NPK em função de épocas de avaliação



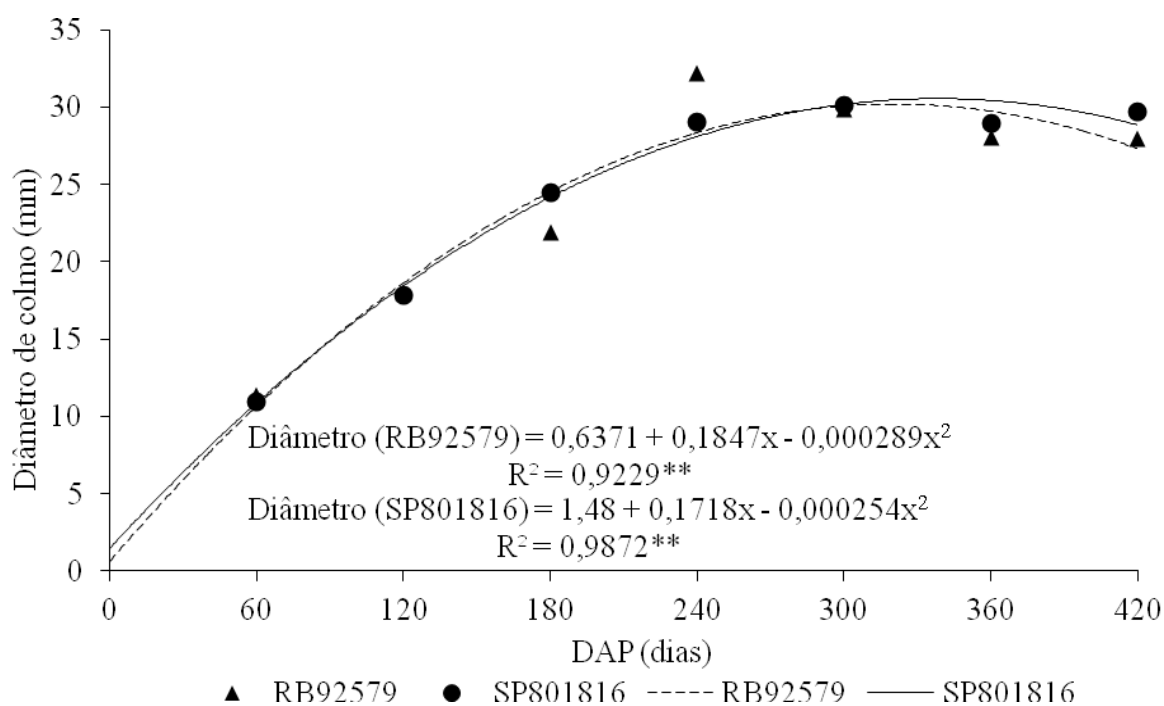
331

332 Em relação ao diâmetro de caule em função de épocas de avaliação, as cultivares
 333 apresentaram comportamentos semelhantes, com ajuste ao modelo quadrático (Figura 11),
 334 atingindo maior diâmetro aos 308 e 286,33 DAP, com valores de 29,05 e 26,07 mm,
 335 respectivamente, para as cultivares RB92579 e SP801816.

336 Os resultados indicam que as cultivares responderam de forma semelhante ao regime
 337 hídrico da área experimental, com incrementos crescentes desde a emergência dos brotos até a
 338 fase mais crítica do déficit hídrico na região (Figura 10), momento em que se observou
 339 estabilização, seguida de pequena redução nesta variável.

340 Esta redução pode ser explicada pela menor absorção de água no período em questão,
 341 em que as células do colmo ficam menos túrgidas em relação à época com maior
 342 disponibilidade de água, reduzindo, assim, seu diâmetro (ALAMILLA-MAGAÑA *et al.*,
 343 2016). De acordo com Aquino *et al.* (2017), o diâmetro é um dos mais sensíveis dos
 344 indicadores biométricos, pois é um dos primeiros parâmetros que o déficit hídrico afeta na
 345 fase inicial, pois ocorre redução na divisão celular, reduzindo o diâmetro e o peso dos colmos.
 346 Esse fator é natural, pois é exatamente neste período que a cultura começa a concentrar seu
 347 teor de açúcar, sendo necessário menor acúmulo de água em suas células (ROBERTO *et al.*,
 348 2015).

349 **Figura 10** - Diâmetro médio de colmo das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-
 350 açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK em diferentes épocas de avaliação



351

352 A Tabela 3 apresenta os resultados do teste de Tukey para a variável número de folhas e
 353 número de gemas para o fator isolado cultivar. Pode-se observar diferença entre as cultivares,
 354 tendo a cultivar SP801816 se sobressaído em relação à RB92579 para ambas as variáveis.
 355 Assim como na variável altura, para número de gemas, a melhor cultivar foi a SP801816, o

356 que confirma a relação entre as variáveis, desde que a condição de luminosidade seja a
 357 mesma, não provocando aumento dos entrenós (estiolamento) em casos de menores
 358 luminosidades.

359 **Tabela 3** - Número de folhas e número médio de gemas para cultivares de cana-de-açúcar
 360 independentemente de doses de adubação NPK 5-2-25

Cultivares	Número de folhas	Número de gemas
RB92579	6,13 b	7,05 b
SP801816	6,58 a	7,84 a

361 Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de
 362 Tukey a 1% de probabilidade.

363 Silva *et al.* (2017), avaliando a área foliar das cultivares de cana-de-açúcar RB92579,
 364 SP813250, RB867515 e VAT90212 e sua correlação com produtividade de biomassa em três
 365 ciclos, encontraram para cana-planta, média de 7,01 folhas por planta, resultado superior ao
 366 encontrado nesse trabalho.

367 Quanto ao efeito isolado de doses de adubação, a variável número de folhas teve ajuste
 368 significativo ao modelo quadrático (Figura 11). Houve pequeno decréscimo da variável em
 369 relação ao aumento das doses de adubação NPK, tendo o seu maior valor na dose de 150 kg
 370 ha⁻¹ de NPK.

371

372

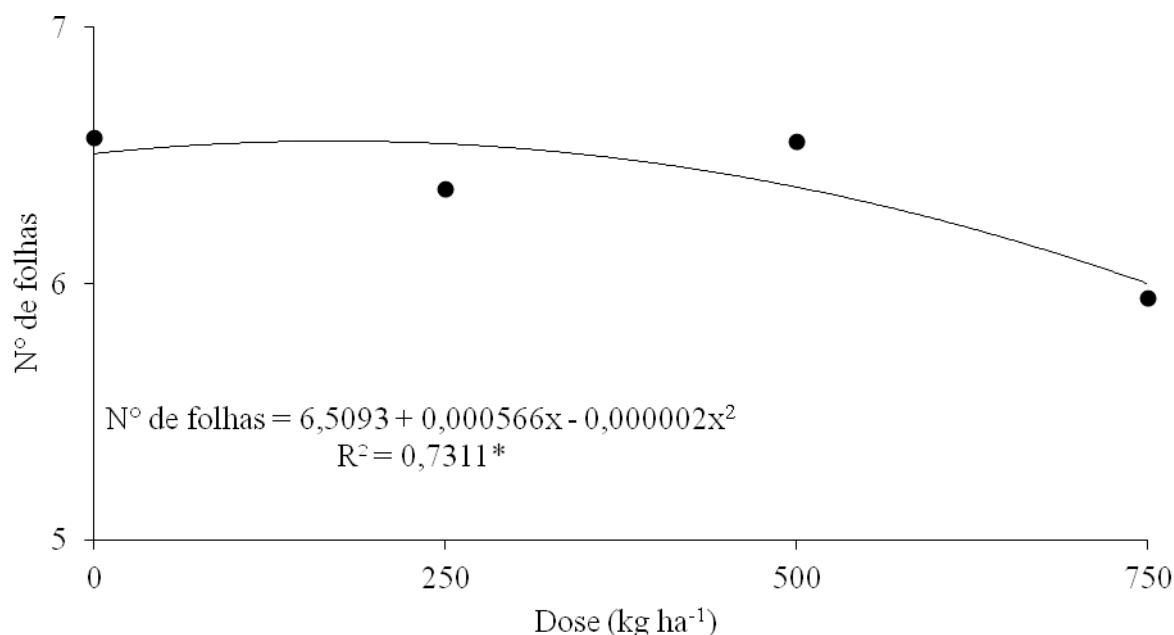
373

374

375

376

377 **Figura 11** - Número médio de folhas para as cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-
 378 açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25



379

380 A partir daí a senescência foi maior que o lançamento de novas folhas, já que as
 381 plantas não pararam de crescer até a colheita (Figura 9). Segundo Holanda et al. (2014), isso
 382 está relacionado ao aumento da produção de etileno nas plantas, levando as folhas à
 383 senescência, evitando, assim, maior transpiração em razão do aumento do déficit hídrico em
 384 detrimento da queda do número de folhas.

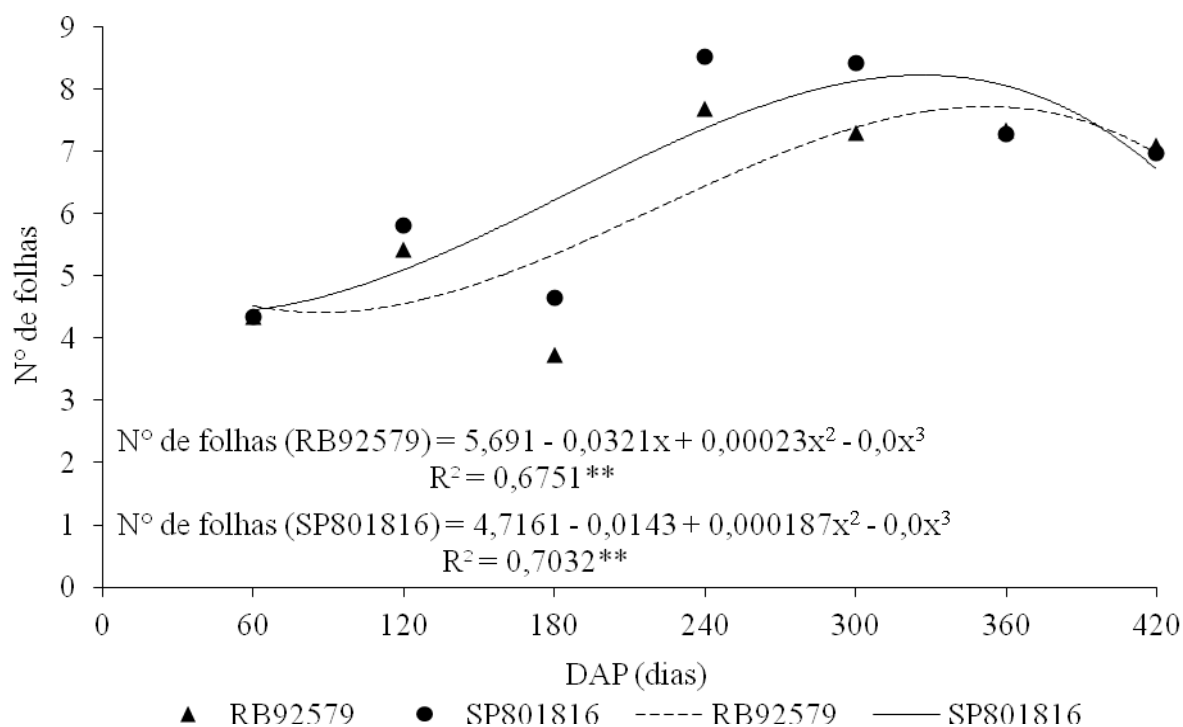
385 Quanto ao atributo número de gemas, é apresentado o efeito isolado do fator adubação
 386 independentemente de cultivar (Figura 13). Os dados se ajustaram ao modelo quadrático, com
 387 máxima eficiência técnica na dose de 502,5 kg ha⁻¹ de NPK 5-25-25.

388 O número de gemas por planta tem maior influência das características genotípicas dos
 389 materiais que de outros fatores externos propriamente ditos, como adubação e irrigação.
 390 Entretanto, como citado anteriormente, o número de gemas é diretamente ligado à variável
 391 altura de plantas, que, por sua vez, sofre maior influência de fatores externos.

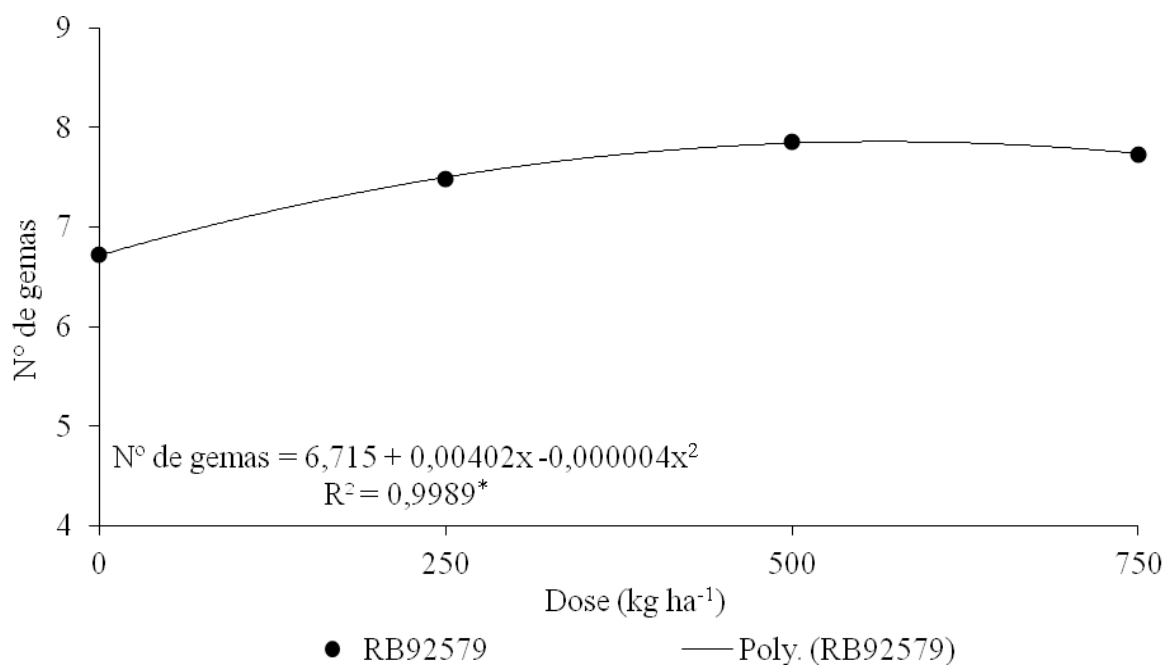
392

393

394 **Figura 12** - Número médio de folhas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar
 395 submetidas a diferentes doses de adubação NPK em diferentes épocas de avaliação



396
 397 **Figura 13** - Número médio de gemas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar
 398 submetidas a diferentes doses (fator isolado) de adubação NPK 5-25-25

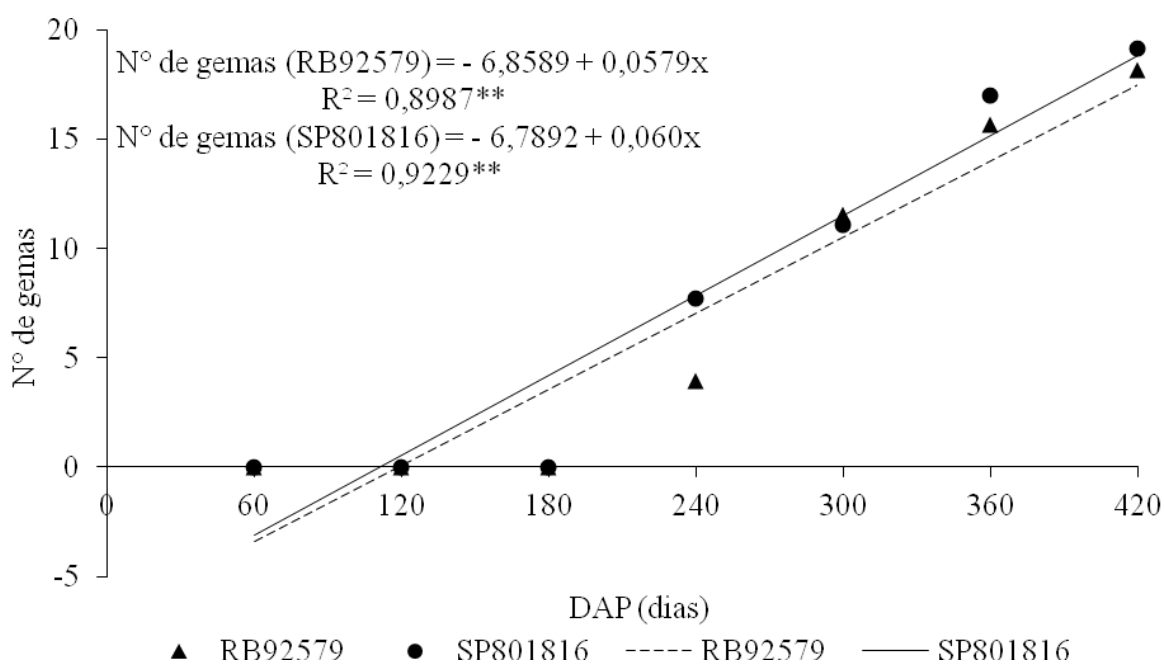


399

400 A Figura 14 mostra o comportamento da variável número de gemas em função de
 401 épocas de avaliação. Esse atributo foi semelhante à altura de plantas, pois o aparecimento de
 402 novas gemas se dá juntamente com o crescimento das plantas em altura.

403 Até aos 180 DAP, verifica-se que não houve desenvolvimento de gemas, período este
 404 que coincide com a falta de chuvas na região, ocasionando baixo desenvolvimento vegetativo
 405 das plantas. A partir dos 240 DAP, pode-se observar crescimento crescente dessa variável,
 406 que coincide com o período de baixa ou sem restrição hídrica. Khalid *et al.* (2018), estudando
 407 o efeito de duas condições agroclimáticas diferentes no crescimento e no rendimento de
 408 genótipos de cana-de-açúcar, encontraram diferenças quanto às condições do clima, aos anos
 409 de avaliação e também quanto aos genótipos.

410 **Figura 14** - Número médio de gemas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar
 411 submetidas a diferentes doses de adubação NPK em sete épocas de avaliação



412
 413 Analisando os resultados da ANOVA para os atributos de final de ciclo (Tabela 3),
 414 observa-se que para TCH a interação dos fatores cultivar x adubação, bem como para os
 415 fatores isolados não foi significativa.

416 **Tabela 4** - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos de final de ciclo de
 417 cultivares de cana-de-açúcar (cana planta) irrigadas sob diferentes doses de adubação NPK no
 418 cerrado

FV	GL	TCH	°BRIX	POL	TF	ATR
CV	1	905,14 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,75 ^{ns}	8,90**	212,79 ^{ns}
AD	3	1328,58 ^{ns}	6,72**	4,11**	0,39 ^{ns}	268,99*
CV x AD	3	107,61 ^{ns}	6,17*	3,53*	0,58*	265,14*
Resíduo	24	1182,05	1,39	0,84	0,17	62,60
CV%	-	29,94	6,00	5,68	3,62	5,64

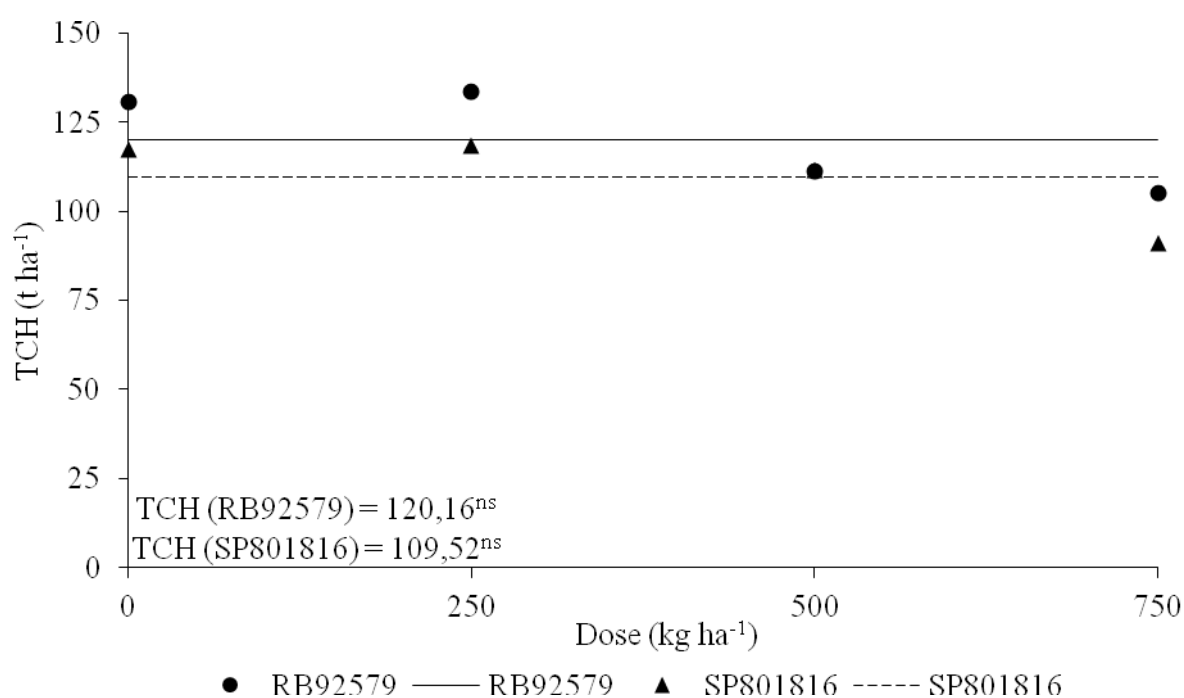
419 Toneladas de colmos por hectare (TCH), teor de fibra (TF), açúcares totais recuperáveis
 420 (ATR). Fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), Cultivar (CV), adubação (AD),
 421 interação cultivar x adubação (CV x AD), coeficiente de variação (CV%). **Significativo a
 422 1%, * significativo a 5% e ^{ns} não significativo

423 Os demais atributos avaliados em final de ciclo apresentaram significância para a
 424 interação cultivar x adubação, sendo que para todos eles as diferenças foram a nível de 5% de
 425 probabilidade.

426 Como apresentado na Tabela 3, a variável TCH não apresentou diferença significativa
 427 para os tratamentos estudados. A ausência de resultados significativos para doses pode estar
 428 relacionada à boa fertilidade do solo, associada ao histórico de correção e adubação da área
 429 com essa mesma cultura. No caso do experimento, a cultivar RB92579 apresentou TCH de
 430 120,16 t ha⁻¹, 9,7% superior à cultivar SP801816 (Figura 15). A maioria das empresas do
 431 setor sucroalcooleiro são de médio a grande porte, ou seja, trabalham com grandes áreas de
 432 produção, e uma pequena margem de ganho na produtividade das lavouras gera grande
 433 impacto em seus resultados.

434 Costa *et al.* (2011), avaliando o crescimento e a produtividade de quatro variedades de
 435 cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo, obtiveram resultados satisfatórios em relação à
 436 cultivar RB92579, pois as cultivares RB92579 e RB93509 apresentaram produtividade e
 437 produção de açúcar superior às demais.

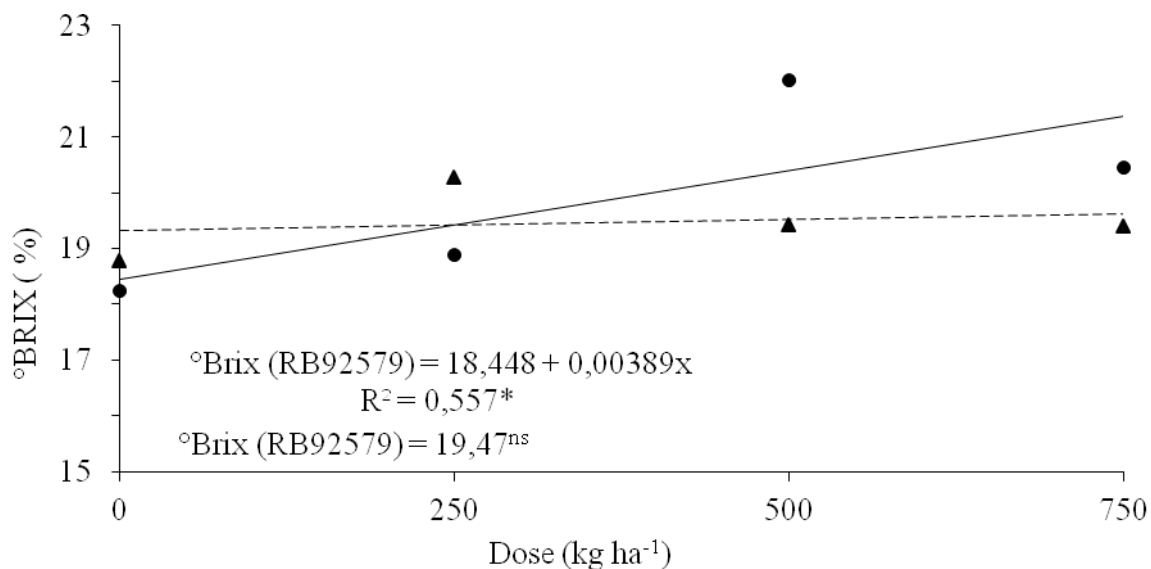
438 **Figura 15** - Produtividade média (toneladas de cana por hectare - TCH) das cultivares
 439 RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-
 440 25-25



441 Em relação à variável °Brix, a cultivar SP801816 não apresentou significância para
 442 nenhum dos modelos testados, Figura 16, com média de 19,47%. Contudo, o desvio foi
 443 significativo, indicando que existem outros modelos que podem se ajustar aos dados. Já a
 444 cultivar RB92579 apresentou significância para o modelo linear crescente, mas o valor do seu
 445 coeficiente de regressão foi relativamente baixo ($R^2 = 0,5537$). Para essa cultivar, o teor de
 446 °Brix com a adubação testada aumentou 15,8 % entre a testemunha (0 kg ha⁻¹), e a dose de
 447 NPK de máxima resposta (750 kg ha⁻¹), um aumento de 2,1% °Brix para cada 100 kg de NPK
 448 adicionado em média. Silva *et al.* (2018), avaliando a repetibilidade de caracteres

450 agroindustriais no município de Igarassú-PE em 16 cultivares de cana-de-açúcar em diferentes
 451 ciclos de colheita, não encontraram diferenças para °Brix.

452 **Figura 16** - °Brix médio de cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a
 453 diferentes doses de adubação NPK 5-25-25



454 ▲ SP801816 — RB92579 ----- Linear (SP801816)

455 Analisando a variável Pol, observa-se ajuste ao modelo linear para a cultivar RB92579,
 456 que apresentou coeficiente de regressão relativamente baixo ($R^2 = 55,13$) (Figura 17). Para
 457 essa cultivar, a dose de NPK de máxima de resposta (750 kg ha^{-1}) provocou aumento de
 458 14,7% no Pol em relação à testemunha, com um aumento de 1,96% para cada 100 kg ha^{-1} de
 459 NPK. Para a cultivar SP801816, não houve ajuste dos dados a modelos de regressão. Esses
 460 resultados confirmam os obtidos por Silva *et al.* (2017b), em que a sacarose aparente no
 461 caldo (Pol) não apresentou efeito varietal para cana-planta na segunda soca, para as cultivares
 462 RB867515, RB92579, SP813250 e VAT90212.

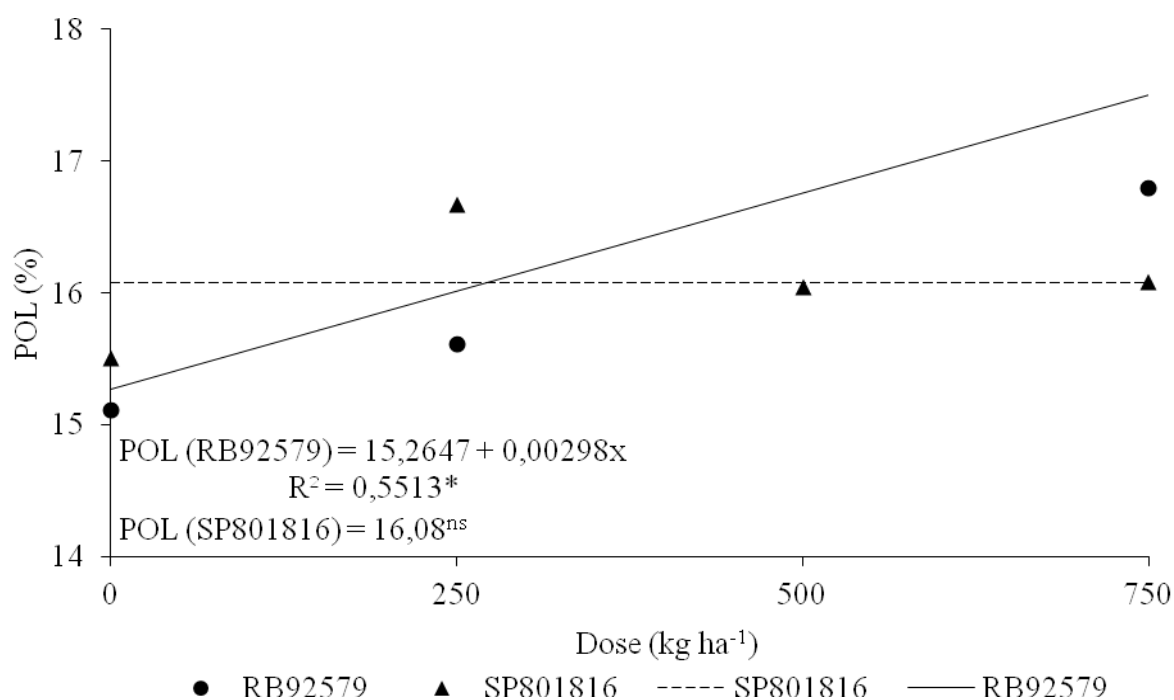
463

464

465

466

467 **Figura 17** - Sacarose aparente no caldo (POL) de cultivares RB92579 e SP801816 de cana-
 468 de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25



469
 470 Em relação ao atributo teor de fibras (Figura 18), verifica-se que a cultivar SP801816 se
 471 ajustou ao modelo linear crescente. Para essa cultivar, na dose de NPK de 750 kg ha⁻¹, houve
 472 aumento de 10% no teor de fibras em relação à testemunha. O incremento do teor de fibras
 473 com o aumento da dose pode ter relação com altura de plantas, quando a planta investe em
 474 maior resistência ao acamamento. Já os dados para a cultivar RB92579 não se ajustaram a
 475 nenhum dos modelos testados, porém apresentou o desvio significativo, indicando poder se
 476 ajustar a outros modelos.

477

478

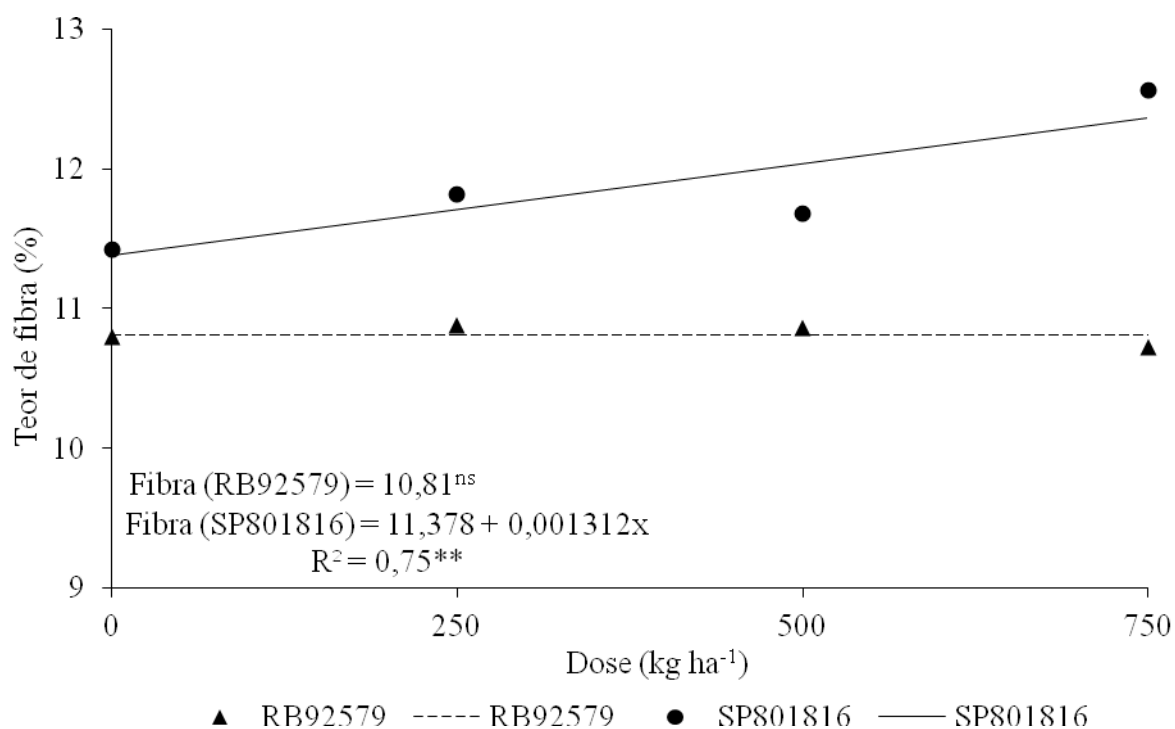
479

480

481

482

483 **Figura 18** - Teor médio de fibra das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar
 484 submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25

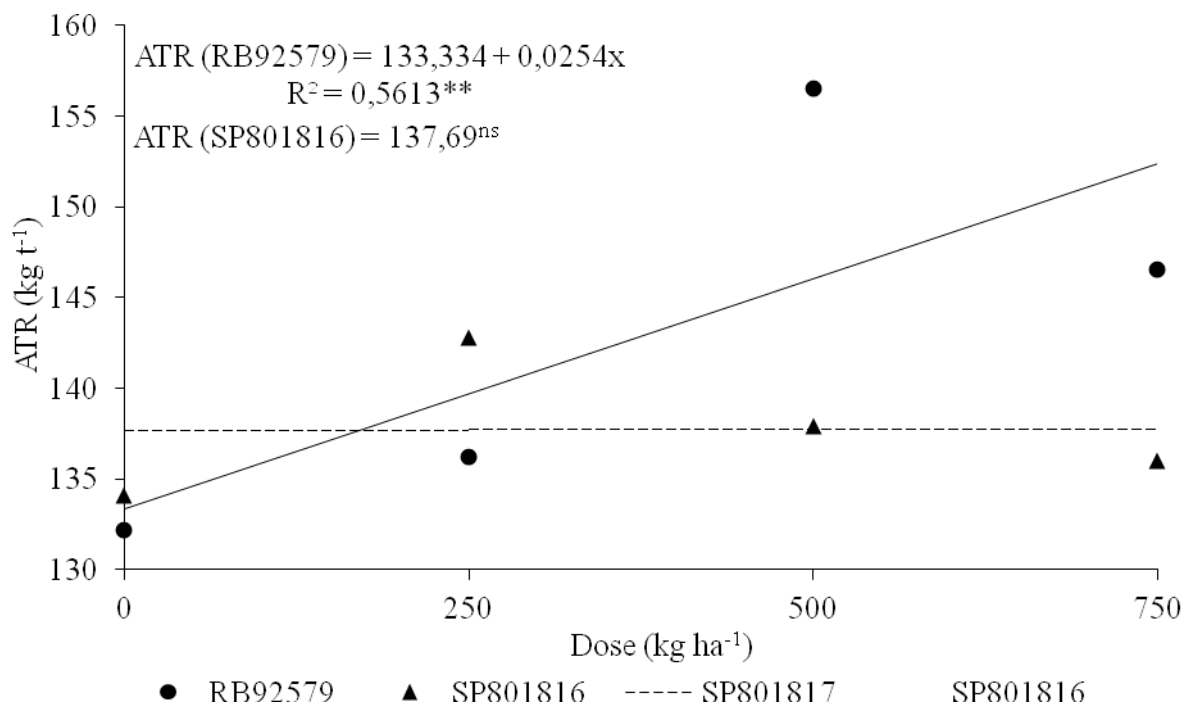


485
 486 Nascimento *et al.* (2018), analisando a produção agroindustrial de cana-de-açúcar da
 487 cultivar RB92579 cultivada utilizando fertirrigação por gotejamento subterrâneo com
 488 nitrogênio e potássio, encontraram maiores valores para fibra com a adubação de 180 kg ha⁻¹
 489 de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo relatado ainda que o conteúdo fibras está condicionado às
 490 características da cultivar.

491 A variável ATR (Figura 19) se comportou de forma semelhante às variáveis
 492 agroindustriais, exceto para fibras. A cultivar RB92579 se ajustou ao modelo linear crescente,
 493 apresentando coeficiente de determinação relativamente baixo (R²=0,5611). O ATR
 494 aumentou 14,6% entre a dose de 750 kg ha⁻¹ e a testemunha, com aumento de 1,95% para
 495 cada 100 kg de NPK 5-25-25. A cultivar SP801816 não se ajustou aos modelos de regressão
 496 testados para ATR, mas o desvio da regressão foi significativo, indicando se ajustar a outros
 497 modelos. Santos *et al.* (2018), analisando produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-
 498 açúcar sob adubação nitrogenada e molibdênica, encontraram valores de 147 kg t⁻¹ para ATR

499 na cultivar RB92579, valores ligeiramente superiores aos encontrados nesse estudo (142,85
500 kg t⁻¹).

501 **Figura 19** - ATR médio das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a
502 diferentes doses de adubação NPK 5-25-25



503

504 Considerando a questão de sustentabilidade dos cultivos, são apresentados nas Tabelas
505 4 e 5 os resultados obtidos para o balanço nutricional de potássio e fósforo para as cultivares
506 de cana estudadas. Percebe-se que os valores de K no solo em outubro de 2019 foram mais
507 altos que em abril de 2018, o que pode ser explicado para o fato de o efeito dos adubos
508 adicionados ter afetado inclusive a testemunha por lixiviação/erosão. Desta forma, os saldos
509 foram positivos para cada dose de K adicionada e para cada cultivar. Na cultivar SP801816, o
510 teor de K no solo (out 19) foi maior na dose 250 que na dose de 500 kg ha⁻¹, evidenciando
511 esse carregamento de K de uma parcela para outra.

512 Quanto ao retorno do nutriente para o solo devido à decomposição da cobertura morta, o
513 maior valor foi encontrado nas doses de 250 e 750 kg ha⁻¹ para as cultivares RB92579 e
514 SP801819, respectivamente. Isso não foi considerado no saldo, pois será computado no caso

515 da cana-soca (próxima colheita). Observando o saldo para o balanço no solo para as
 516 cultivares, verifica-se que todos os níveis de adubação apresentaram balanço positivo, muito
 517 influenciado pela quantidade de K disponível no solo após a colheita, que foi maior que a
 518 inicial.

519 Gonçalves *et al.* (2019), estudando o balanço nutricional e produção de cana-de-açúcar
 520 irrigada com esgoto tratado por gotejamento subterrâneo, notaram que houve um
 521 desequilíbrio nutricional negativo no solo, especialmente para os elementos K, P e Mg, em
 522 razão da alta exportação de nutrientes do solo para os caules em relação ao fornecimento via
 523 irrigação e fertirrigação. Isso resultou em uma perda na fertilidade média do solo.

524 **Tabela 5** - Balanço de K no solo e na lavoura para as cultivares RB92579 e SP801816 de
 525 cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes doses NPK da formulação 05-25-25, na
 526 profundidade de 0 a 0,2 m

Balanço no Solo	RB92579				SP801816			
	0	250	500	750	0	250	500	750
	----- K (kg ha ⁻¹) -----							
Abr/18	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6
Out/19	183,1	166,1	118,6	347,4	157,3	319,8	287,1	218,1
Jan/20) - palha*	40,7	43,5	32,5	21,3	29,8	30,6	34,1	43,6
Total Final ¹	183,1	166,1	118,6	347,4	157,3	319,8	287,1	218,1
Saldo ²	81,5	64,5	17,0	245,8	55,7	218,2	185,5	116,5
Balanço na lavoura	----- K (kg ha ⁻¹) -----							
Doses (abr 2018)	0	51,87	103,73	155,6	0	51,87	103,7	155,6
Extração colmos (jun 2019)	60,41	59,55	65,57	81,65	59,01	61,10	100,0	66,86
Saldo	-60,41	-7,68	38,16	73,95	-59,01	-9,23	3,03	88,74

527 *3 meses de decomposição da palha (inicial-final). ¹solo out2019. ²total final – abr 2018

528 Avaliando os resultados em relação ao balanço na lavoura, a maior extração de K pelos
529 colmos ocorreu na maior dose para RB92579 e para a dose de 500 kg ha⁻¹ para SP801816.

530 Quanto ao saldo do balanço na lavoura, verificou-se comportamento crescente em
531 função dos níveis de adubação, com saldos positivos a partir da dose de 500 kg ha⁻¹,
532 indicando que a dose padrão de P que a usina utiliza (500 kg ha⁻¹ de NPK 5-25-25) não está
533 exaurindo as reservas do solo nessa primeira safra (cana-planta).

534 Em relação ao balanço de P, houve comportamento similar ao K em razão do
535 acréscimo desse elemento em relação a abril de 2018 (antes da reforma da lavoura), o que
536 pode estar associado ao efeito da adubação. Franco *et al.* (2015), analisando as alterações de
537 carbono, nitrogênio e fósforo no solo em função da expansão da cana-de-açúcar no Brasil,
538 afirmaram que sua disponibilidade não foi afetada pelo tipo de uso do solo e que esse
539 nutriente costuma ser encontrado em maior abundância. Em relação ao P da decomposição da
540 palha, houve enriquecimento de P na palhada ao invés de perda nos três meses de
541 decomposição estudados. Isso indica que a palhada adsorveu P ao seu material orgânico,
542 gerando resultados negativos para o balanço. Esses resultados foram discordantes dos
543 encontrados por Oliveira filho *et al.* (2017), que, estudando as formas de fósforo e adsorção
544 em um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar colhida sem queima, não
545 encontraram relação da disponibilidade de P com a matéria orgânica. Esses resultados de P na
546 palhada serão considerados na cana-soca (próxima colheita).

547 Os balanços de P no solo se mostraram positivos, com exceção para a testemunha na
548 cultivar SP801816. Quanto ao balanço de P na lavoura, verifica-se que a extração de P pelos
549 colmos variou pouco, mas com aumento crescente até a dose de 500 kg ha⁻¹, com saldo
550 negativo somente para a testemunha e com pouca diferença entre o saldo das duas cultivares
551 para cada dose de NPK.

552 **Tabela 6** - Balanço de P no solo e na lavoura para as cultivares RB92579 e SP801816 de
 553 cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes doses NPK da formulação 05-25-25, na
 554 profundidade de 0 a 0,2 m

Balanço no solo	RB92579				SP801816			
	0	250	500	750	0	250	500	750
	----- P (kg ha ⁻¹) -----							
Abr/2018	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Out/2019	11,3	15,9	10,9	7,7	4,4	12,8	8,7	17,4
Jan/2020) - palha*	-1,3	-0,3	-1,1	-0,5	-1,2	-0,7	-1,1	0,0
Total Final ¹	11,3	15,9	10,9	7,7	4,4	12,8	8,7	17,4
Saldo ²	6,8	12,4	6,6	4,0	-2,0	8,9	4,4	14,2
Balanço na lavoura	-----P (kg ha ⁻¹) -----							
Doses (abr 2018)	0	27,29	54,58	81,87	0	27,29	54,58	81,87
Extração colmos (jun 2019)	4,48	4,88	6,03	4,06	4,71	4,91	5,49	4,11
Saldo	-4,48	22,41	48,45	77,81	-4,71	22,38	49,09	77,76

555 *3 meses de decomposição da palha (inicial-final). ¹solo out2019 jan2020. ² total final – abr
 556 2018

557 CONCLUSÕES

- 558 1. Nas condições deste estudo, a cultivar SP801816 foi superior nas variáveis altura, número
 559 de folhas e número de gemas, enquanto a cultivar RB92579 se destacou para
 560 perfilhamento.
- 561 2. A maioria das variáveis de crescimento e de final de ciclo teve respostas lineares
 562 crescentes para doses de NPK 5-25-25. As doses de máxima eficiência técnica para as
 563 cultivares RB92579 e SP801816 variam de 455,6 a 750 e de 442,7 a 750 kg ha⁻¹ da

564 formulação NPK 05-25-25, respectivamente. TCH foi pouco influenciado pelas doses de
565 NPK 5-25-25, com superioridade (9,7%) da cultivar RB92579.

566 3. Doses de NPK 05-25-5 a partir de 500 e 250 kg ha⁻¹, respectivamente, para K e P,
567 apresentam balanço positivo e teoricamente não afetam as reservas desses nutrientes no
568 solo nas condições deste estudo.

569

570

REFERÊNCIAS

571 ALAMILLA-MAGAÑA, J. C. et al. Soil moisture tension effect on sugar cane growth and
572 yield. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 264–273, 2016.

573 ALMEIDA, H. J. et al. Decreased potassium fertilization in sugarcane ratoons grown under
574 straw in different soils. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 7, p. 596–604, 2015.

575 AQUINO, G. S. et al. Development and production of sugarcane under different levels straw
576 after four years of cultivation. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 5, p. 2957–2966, 2017.

577 AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-
578 de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária**
579 **Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 173–180, 2014.

580 AUGÉ, K. D. et al. Potassium forms of soils under enset farming systems and their
581 relationships with some soil selected physico-chemical properties in Sidama zone, Southern
582 Ethiopia. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 52, p. 3585–3594, 2017.

583 ÁVILA, S. R. S. A.; ÁVILA, M. L. DE; ALTAFIN, L. G. Expansão canavieira no cerrado
584 goiano: crescimento econômico é desenvolvimento? **Organizações Rurais &**
585 **Agroindustriais**, v. 13, n. 3, p. 317–329, 2011.

586 AZEVEDO, A. C. B. et al. Enzymatic polyphenoloxidase inactivation with temperature and
587 ozone in sugarcane variety RB 92579 to produce lower color sugar. **Brazilian Journal of**
588 **Food Technology**, v. 22, p. 1–7, 2019.

589 BERNARDO, R. et al. Analysis of the agricultural productivity of the sugarcane crop in
590 regions of new agricultural expansions of sugarcane. **Gestão & Produção**, v. 26, n. 3, p. 1–
591 10, 2019.

592 BRAOS, L. B. et al. Organic phosphorus fractions in soil fertilized with cattle manure.

- 593 **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, p. 140–150, 2015.
- 594 BUSATO, J. G. et al. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo
595 tempo. I - fracionamento sequencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p.
596 935–944, 2005.
- 597 BUTTERBACH-BAHL, K. et al. Nitrous oxide emissions from soils: How well do we
598 understand the processes and their controls? **Philosophical Transactions of the Royal**
599 **Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1621, p. 1–13, 2013.
- 600 CASTRO, S. G. Q. et al. Best Practices of Nitrogen Fertilization Management for Sugarcane
601 Under Green Cane Trash Blanket in Brazil. **Sugar Tech**, v. 19, n. 1, p. 51–56, 2017.
- 602 CAVALCANTE, V. S. et al. Potassium Nutrition in Sugar Cane Ratoons Cultured in Red
603 Latosol with a Conservationist System. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 46, p. 1–22,
604 2015.
- 605 CHERUBIN, M. R. et al. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils-Effects of land use
606 change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 211, p.
607 173–184, 2015.
- 608 CHOHAN, M. et al. Effect of Inorganic NPK Different levels on Yield and Quality of
609 Sugarcane Plant and Ratoon Crop. **International Journal of Agronomy and Plant**
610 **Production**, v. 4, p. 3668–3674, 2013.
- 611 CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Disponível em:
612 <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>.
613 Acesso em: 12 mar. 2020.
- 614 COOPERSUCAR. **Características Agronômicas das Variedades SP**. Disponível em:
615 <<http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/Variedades-SP.pdf>>. Acesso em: 7 ago.
616 2019.
- 617 COSTA, D. B. et al. Adubação fosfatada em cana-planta e soca em argissolos do nordeste de
618 diferentes texturas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 47–56, 2014.
- 619 COSTA, T. S. et al. Crescimento e Produtividade de Quatro Variedades de Cana-de-Açúcar
620 no Quarto Ciclo de Cultivo. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 56–63, 2011.
- 621 CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura
622 brasileira. **IPNI-International Plant Nutrition Institute**, n. 130, p. 1–11, jun. 2010.

- 623 DELGADILLO-VARGAS, O.; GARCIA-RUIZ, R.; FORERO-ÁLVAREZ, J. Fertilising
624 techniques and nutrient balances in the agriculture industrialization transition: The case of
625 sugarcane in the Cauca River Valley (Colombia), 1943-2010. **Agriculture, Ecosystems and**
626 **Environment**, v. 218, p. 150–162, 2016.
- 627 DONAGEMA, G. K. **Manual de métodos de análise de solo**. Disponível em:
628 <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104933/1/Manual-de-Mtodos-de->
629 [Anilise-de-Solo.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104933/1/Manual-de-Mtodos-de-)>. Acesso em: 18 fev. 2020.
- 630 DUNGAIT, J. A. J. et al. Advances in the understanding of nutrient dynamics and
631 management in UK agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 434, p. 39–50, 2012.
- 632 EVANGELISTA, C. R. et al. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar
633 sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1549–1562,
634 2013.
- 635 FERREIRA, D. A. et al. Contribution of N from green harvest residues for sugarcane
636 nutrition in Brazil. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 8, n. 5, p. 859–866, 2016.
- 637 FERREIRA, E. V. DE O. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na
638 integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.
639 35, n. 1, p. 161–169, 2011.
- 640 FRANCO, A. L. C. et al. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane
641 expansion in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 515–516, p. 30–38, 2015.
- 642 FRANCO, H. C. J. et al. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de
643 plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. especial, p. 2763-2770, 2008.
- 644 GAO, W. et al. Effects of nitrogen deposition and fertilization on N transformations in forest
645 soils: a review. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 4, p. 863–879, 2015.
- 646 GOMES, M. A. F. et al. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos,**
647 **fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna-SP: EMBRAPA, 2000.
- 648 GONÇALVES, I. Z. et al. Nutritional balance and production of sugarcane irrigated with
649 treated wastewater through subsurface drip. **Irrigation Science**, v. 37, n. 2, p. 207–217, 2019.
- 650 GOPALASUNDARAM, P.; BHASKARAN, A.; RAKKIYAPPAN, P. Integrated Nutrient
651 Management in Sugarcane. **Sugar Tech**, v. 14, n. 1, p. 3–20, 2012.
- 652 GROENIGEN, J. W. VAN et al. The soil N cycle : new insights and key challenges. **Soil**

- 653 **Journal**, v. 1, p. 235–256, 2015.
- 654 GUARESCHI, R. F. G. et al. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da
655 América Latina e do Caribe. **Revista Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 2, p. 105, 2019.
- 656 GUNTIÑAS, M. E. et al. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen
657 mineralization: A laboratory study. **European Journal of Soil Biology**, v. 48, p. 73–80, 2012.
- 658 HEINRICHS, R. et al. Importance of sugarcane in brazilian and world bioeconomy.
659 **Economic Complexity and Evolution**, p. 205–217, 2017.
- 660 HOLANDA, L. A. et al. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime
661 hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 573–584, 2014.
- 662 HORTA, M. C.; TORRENT, J. **Dinâmica do fósforo no solo, perspectiva agronômica e**
663 **ambiental**. Castelo Branco: IPCB, 2010.
- 664 HUSSAIN, S. et al. Best suited timing schedule of inorganic NPK fertilizers and its effect on
665 qualitative and quantitative attributes of spring sown sugarcane (*Saccharum officinarum* L.).
666 **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 1, p. 66–71, 2017.
- 667 KAMINSKI, J. et al. Potassium availability in a hapludalf soil under long term fertilization.
668 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 783–791, 2010.
- 669 KHALID, M. et al. The Effect of Two Different Agro Climatic Conditions on Growth and
670 Yield Performance of Sugarcane Genotypes. **Plant Gene and Trait**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2018.
- 671 KRAAIJVANGER, R.; VELDKAMP, T. Grain Productivity, Fertilizer Response and
672 Nutrient Balance of Farming Systems in Tigray, Ethiopia: A Multi-Perspective View in
673 Relation to Soil Fertility Degradation. **Land Degradation and Development**, v. 26, n. 7, p.
674 701–710, 2015.
- 675 LEITE, J. M. et al. Nutrient partitioning and stoichiometry in unburnt sugarcane ratoon at
676 varying yield levels. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 466, p. 1–14, 2016.
- 677 MALAVATH, R. N.; MAHESH, C.; BALAGURUVAIAH, D. Land use options and site
678 suitability for sugarcane growing red soils, red laterite soils and black soils of Medak, district
679 of Telangana. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 2, p. 409–416,
680 2018.
- 681 MCCRAY, J. M.; JI, S.; POWELL, G. Sugarcane yield response to potassium fertilization as
682 related to extractable soil potassium on florida histosols. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 5, p.

- 683 2243–2252, 2017.
- 684 MCCRAY, J. M.; POWELL, G. Sugarcane yield response to potassium on a florida histosol.
685 **Journal of American Society of Sugar Cane Technologists**, v. 36, n. 1963, p. 9–18, 2016.
- 686 MEDINA, N. H. et al. Dynamic distribution of potassium in sugarcane. **Journal of**
687 **Environmental Radioactivity**, v. 126, p. 172–175, 2013.
- 688 MISHRA, A. K. et al. Iron, Manganese and Sulphur Uptake and Nutrients Availability in
689 Sugarcane Based System in Subtropical India. **Sugar Tech**, v. 16, n. 3, p. 300–310, 2014.
- 690 MOOSHAMMER, M. et al. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon:
691 Nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. **Nature Communications**, v. 5, p. 1–7,
692 2014.
- 693 MOURA, J. B. et al. Adsorção de fósforo em latossolo vermelho distrófico sob vegetação de
694 Cerrado em Rio Verde-GO. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and**
695 **Environmental Science**, v. 4, n. 3, p. 199–208, 2015.
- 696 NASCIMENTO, F. N. et al. Agro-industry production of sugarcane grown using subsurface
697 drip fertigation with nitrogen and potassium. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 12,
698 p. 1346–1354, 2018.
- 699 NAWAZ, M.; CHATTHA, M. U.; CHATTHA, M. B. Sugarcane processing by-product
700 compost supplemented with inorganic fertilizers improve the growth, yield quality of spring
701 planted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Journal of Agricultural Research**, v. 54, n.
702 4, p. 631–645, 2016.
- 703 NOVAIS, R.F. et al. Fósforo. In: NOVAIS, R.F, et al. Fertilidade do solo. Viçosa, MG,
704 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.
- 705 OLIVEIRA, E. C. A. et al. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-
706 açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p.
707 1343–1352, 2010.
- 708 OLIVEIRA, F. M. et al. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes
709 épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n.
710 3, p. 1587–1606, 2014.
- 711 OLIVEIRA FILHO, J. S. et al. Phosphorus forms and adsorption in a typic quartzipsamment
712 cultivated with sugarcane harvested without burning. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 343–

- 713 352, 2017.
- 714 OTTO, R. et al. Nitrogen Use Efficiency for Sugarcane-Biofuel Production: What Is Next?
715 **Bioenergy Research**, v. 9, n. 4, p. 1272–1289, 2016.
- 716 OTTO, R. et al. Effect of previous soil management on sugarcane response to nitrogen
717 fertilization. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 1, p. 72–81, 2018.
- 718 PHILIPPOT, L. et al. Loss in microbial diversity affects nitrogen cycling in soil. **ISME**
719 **Journal**, v. 7, n. 8, p. 1609–1619, 2013.
- 720 PONETTE-GONZÁLEZ, A. G. et al. Nitrogen cycling in tropical Atlantic Forest differing in
721 exposure to urban atmospheric nitrogen deposition. **Plant and Soil**, v. 420, n. 1–2, p. 451–
722 465, 2017.
- 723 RIDESA. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Disponível em:
724 <[http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/2012-10-31-11-22-](http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/2012-10-31-11-22-CatalogodeVariedadesRB.pdf)
725 [CatalogodeVariedadesRB.pdf](http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/2012-10-31-11-22-CatalogodeVariedadesRB.pdf)>. Acesso em: 7 ago. 2019.
- 726 ROBERTO, G. G. et al. Variação da fotossíntese e dos teores de carboidratos induzidos por
727 etefom e déficit hídrico na fase de maturação da cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 74, n. 4, p.
728 379–386, 2015.
- 729 ROBERTS, T. L.; JOHNSTON, A. E. Phosphorus use efficiency and management in
730 agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 275–281, 2015.
- 731 ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Potassium supply as affected
732 by residual potassium fertilization in a Cerrado Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do**
733 **Solo**, v. 36, n. 5, p. 1507–1515, 2012.
- 734 ROSSI, C. Q. et al. Fósforo em cronossequência de cana-de-açúcar queimada no cerrado
735 goiano - Análise de ácidos húmicos por RMN de 31P. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1126–
736 1130, 2013.
- 737 SANTANA, J. A. S. et al. Decomposição da biomassa foliar de cana-de-açúcar em um
738 neossolo na região de Areia-PB. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 28–32, 2011.
- 739 SANTOS, D. H. et al. The effect of filter cakes enriched with soluble phosphorus used as
740 a fertilizer on the sugarcane ratoons. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, n. 3, p. 365, 2014.
- 741 SANTOS, R. L. et al. Productivity and technological quality of sugarcane under fertilization
742 of nitrogen and molybdenum. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 18, n. 4, p.

- 743 1002–1020, 2018.
- 744 SCHULTZ, N. et al. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e
745 potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de**
746 **Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 811–820, 2010.
- 747 SEDIYAMA, M. A. N. et al. Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro
748 cultivado com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p.
749 421–425, 2009.
- 750 SEIXAS, A. A.; TEIXEIRA, F. A. **Nitrogênio, fósforo e potássio na nutrição de**
751 **gramíneas: Disponibilidade, formas, absorção e funções**. [s.l.] Universidade Estadual do
752 Sudoeste da Bahia, 2019.
- 753 SHEN, J. et al. Phosphorus dynamics: From soil to plant. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p.
754 997–1005, 2011.
- 755 SHIKIDA, P. F. A. Evolução e fases da agroindústria canavieira no Brasil. **Revista de**
756 **Política Agrícola**, v. 23, n. 4, p. 43–57, 2013.
- 757 SILVA, F. C. Análise q. In: SILVA, F. C. (Ed.). . **Manual de análises químicas de solos ,**
758 **plantas e fertilizantes**. Brasília: [s.n.]. p. 627.
- 759 SILVA FILHO, L. A. et al. Alocação espacial de estabelecimentos e de emprego formal no
760 cultivo de cana-de-açúcar : Brasil – 1994-2011. **Revista de Economia e Tecnologia**, v. 10, n.
761 4, p. 37–50, 2014.
- 762 SILVA, H. C. et al. Repeatability of agroindustrial characters in sugarcane in different harvest
763 cycles. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 275–282, 2018.
- 764 SILVA, M. D. A.; JERONIMO, E. M.; LÚCIO, A. D. COL. Height of cut and harvest period
765 effects on tillering and yield of sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p.
766 979–986, 2008.
- 767 SILVA, N. F. et al. Perfilhamento da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de
768 irrigação e fertirrigação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3,
769 p. 91–101, 2015.
- 770 SILVA, N. F. et al. Development and Yield of Irrigated Sugarcane as Affected by Nitrogen
771 Sources and Rate in Brazilian Cerrado Oxisol. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 3,
772 p. 267, 2019.

- 773 SILVA, T. G. F. et al. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada
774 no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.
775 87, p. 1257–1265, 2011.
- 776 SILVA, V. S. G. et al. Leaf area of sugarcane varieties and their correlation with biomass
777 productivity in three cycles. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 7, p. 459–
778 466, 2017a.
- 779 SILVA, V. S. G. et al. Agro-industrial quality of plant cane, first and second ratoon in
780 sugarcane varieties. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 09, p. 1216–1220, 2017b.
- 781 SOOMROA, A. F. et al. Effect of inorganic NPK fertilizers under different proportions on
782 growth, yield and juice quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* L). **Pure and Applied**
783 **Biology**, v. 3, n. 1, p. 10–18, 2014.
- 784 THIAGO, R. et al. Phosphate Fertilizers for Sugarcane used at Pre - Planting (Phosphorus
785 Fertilizer Application). **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 9, p. 1444–1455, 2015.
- 786 URIBE, R. A. M. et al. Estimativa do acúmulo de fitomassa da soqueira de cana-de-açúcar
787 fertitigada com doses de N-fertilizante utilizando modelo de simulação. **Irriga**, n. 2001, p.
788 126–139, 2016.
- 789 VAN BEEK, C. L. et al. Soil nutrient balances under diverse agro-ecological settings in
790 Ethiopia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 106, n. 3, p. 257–274, 2016.
- 791 VANLAUWE, B. et al. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa:
792 Unravelling local adaptation. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 491–508, 2015.
- 793 VASANTHA, S.; GUPTA, C.; SHEKINAH, D. E. Physiological studies on tiller production
794 and its senescence in sugarcane - Response comparison between plant and ratoon crops.
795 **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 84, n. 1, p. 24–27, 2014.
- 796 VIEIRA-MEGDA, M. X. et al. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen
797 extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient Cycling in**
798 **Agroecosystems**, v. 101, n. 2, p. 241–257, 2015.
- 799 VINICIUS, S. G. DA S. et al. Nutritional diagnosis of sugarcane varieties in a Yellow Oxisol
800 during three agricultural seasons. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 1, p.
801 50–57, 2017.
- 802 WALTERS, J. P. et al. Exploring agricultural production systems and their fundamental

- 803 components with system dynamics modelling. **Ecological Modelling**, v. 333, p. 51–65, 2016.
- 804 WHITEHEAD, P. G.; CROSSMAN, J. Macronutrient cycles and climate change: Key science
805 areas and an international perspective. **Science of the Total Environment**, v. 434, p. 13–17,
806 2012.
- 807 YADAV, B. K.; SIDHU, A. S. Dynamics of Potassium and Their Bioavailability for Plant
808 Nutrition. **Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture**, v. 1, p.
809 187–201, 2016.
- 810 ZHU, X. et al. Impacts of nitrogen deposition on soil nitrogen cycle in forest ecosystems: A
811 review. **Acta Ecologica Sinica**, v. 35, n. 3, p. 35–43, 2015.
- 812 ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and
813 perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656–669, 2014.