

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.

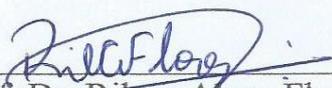
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

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

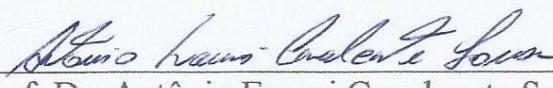
Autor: Pedro Henrique Martins Cintra
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

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

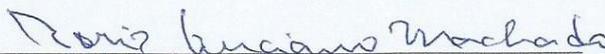
APROVADO em 30 de dezembro de 2019.



Prof. Dr. Rirner 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 movimentava, 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).

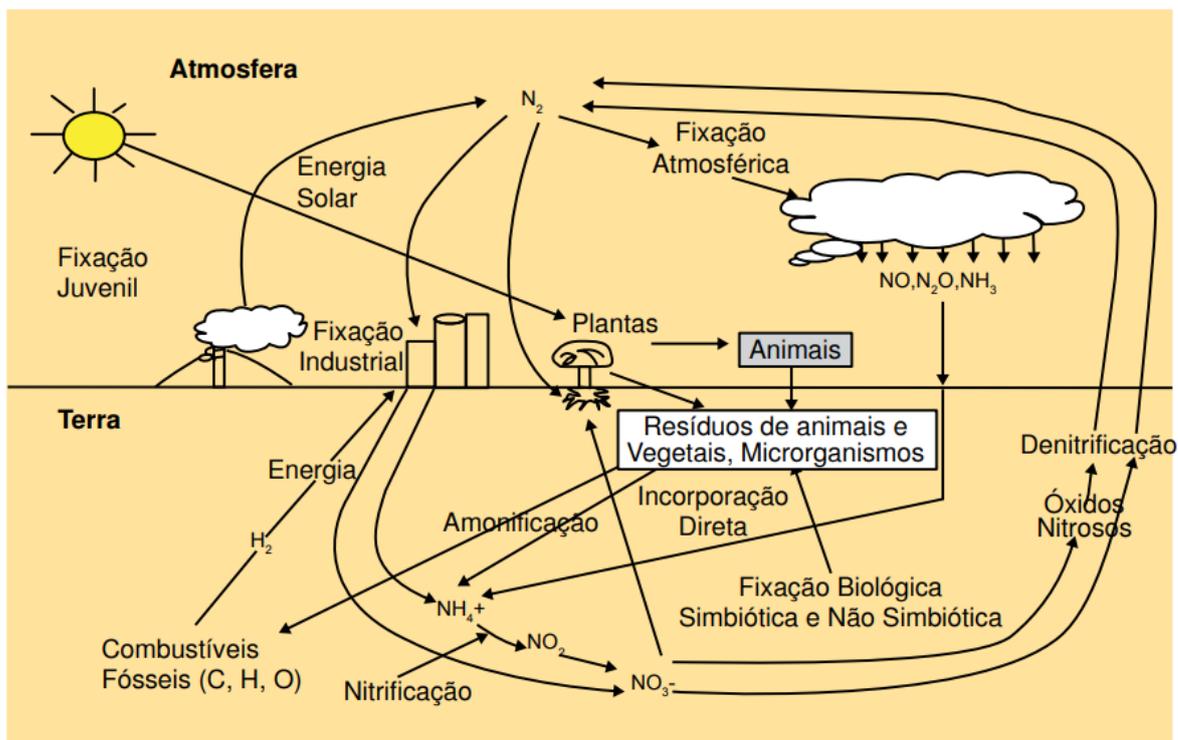


Figura 1 - Ciclo do nitrogênio

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.

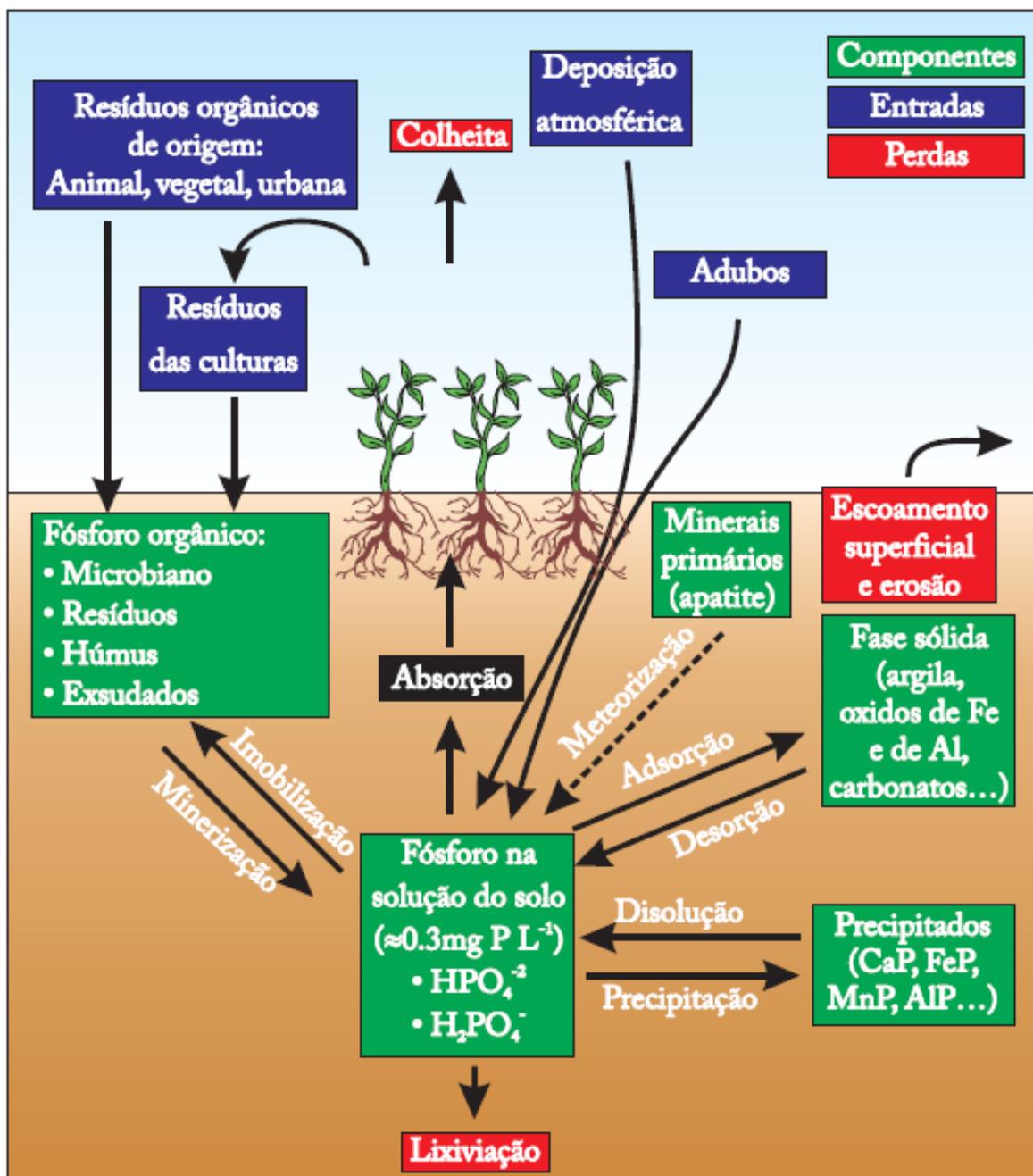


Figura 2 - Ciclo do fósforo
Fonte: Horta; Torrent (2010).

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.

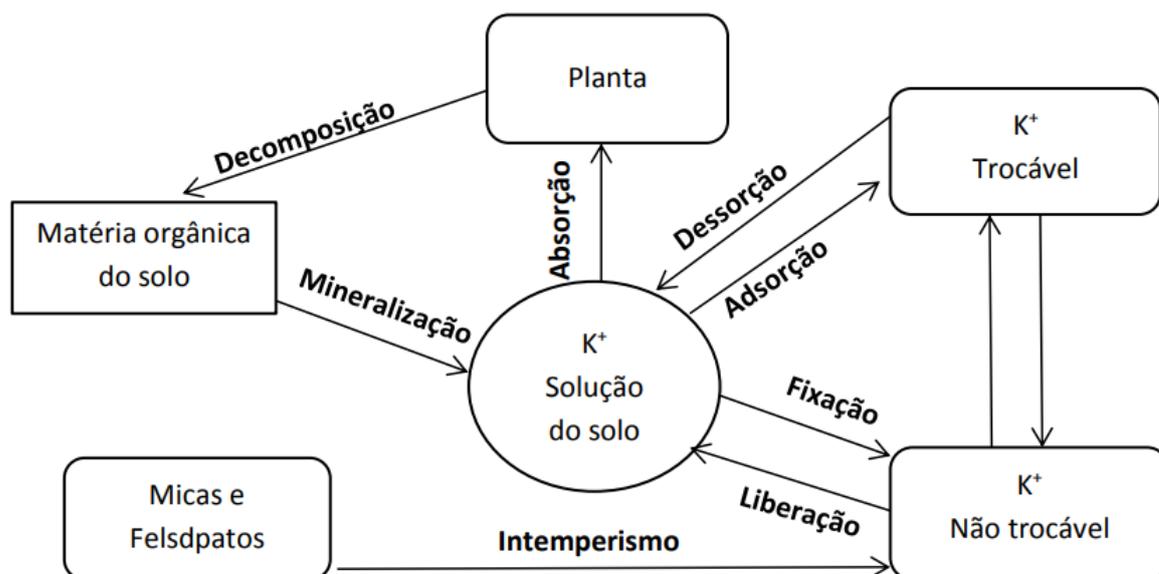


Figura 3 - Ciclo do potássio
Fonte: Seixas; Teixeira (2019)

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).

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

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

(Normas de acordo com a revista ciência agrônômica)

Pedro Henrique Martins Cintra; Roriz Luciano Machado

RESUMO – 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 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 teve 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 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, quadrática para DC e cúbica para NF. Para as variáveis de final de ciclo, a adubação influenciou no °Brix, Pol, TF e ATR. Para 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 442,7 a 750 kg ha⁻¹, respectivamente. A cultivar RB92579 apresenta maior (9,7%) produtividade (TCH) que a 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.

ABSTRACT - The fertilizer application must be done in a planned manner to ensure a nutrient appropriate supply. This paper aimed to evaluate the response of sugarcane cultivar 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 growth phase was in completely randomized design (CRD) in 2x4x7 split-plot scheme with two cultivars (RB92579 and SP801816), four fertilizer NPK 05-25-25 doses (0, 250, 500, and 750 kg ha⁻¹)

in 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). The phosphorus and potassium nutrient balance in the soil and in the crops was also evaluated. The NP and PH growth variables showed significant interaction for cultivar x fertilizer. All growth variables had significant interactions between cultivar/period and fertilization/period. For the end-cycle variables, only the TCH showed no significant interaction between cultivar/fertilization as well as for isolated factor involved. The RB92579 cultivar responded linearly to NPK doses for NP and PH variables. The SP801816 cultivar had linear adjustment for NB and CD, quadratic adjustment for PH, and had not adjustment to the models tested for NP. The SP801816 cultivar had a quadratic adjustment for NP and had not adjustment to the models tested for NP, CD, and NB. GL and NB had adjusted for doses (isolated factor) to the quadratic model. In the cultivar x period interaction, the RB92579 cultivar had adjustment to the linear model for PH and NB, to cubic model for NP and GL, and to quadratic model for CD. The SP801816 cultivar responded to linear model for NP, PH, and NB, to quadratic model for CD, and to cubic model for GL. For the end-cycle variables, fertilization influenced the °Brix, Pol, FC, and TRS. For the RB92579 cultivar, the response was linear for °Brix, 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 SP801816 cultivar. The P extraction by culms increased up to the 500 kg ha⁻¹ dose for both cultivars, and potassium extraction by culms increased up to the 500 and 750 kg ha⁻¹ of NPK 5-25-25 dose for 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 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.

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

INTRODUÇÃO

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

Com essa demanda crescente de matéria-prima, a otimização das produções deve ser prioridade, com seleção de cultivares adaptadas. Apesar de o potencial biológico de uma variedade de alto rendimento ser inerente a seu material genético, para explorá-lo em condições de campo, um pacote adequado de insumos e práticas culturais deve ser adotado em condição agrícola específica, como, por exemplo, a fertilização e irrigação adequadas (HUSSAIN *et al.*, 2017).

De acordo com Sedyama *et al.* (2009), trabalhos objetivando quantificar os nutrientes removidos na colheita pelas culturas são de grande valia para determinar a quantidade

necessária de nutrientes a serem recomendados nos ciclos seguintes das culturas. No caso da cana-de-açúcar, é sempre necessário levar em consideração a idade da lavoura (cana-planta/cana-soca).

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

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

O balanço de nutrientes é um importante indicador de sustentabilidade da agricultura, o qual contabiliza a relação de entrada (adubação, correção do solo e fixação biológica de nitrogênio) e saída (extração de nutrientes pelas partes colhidas; perdas). Desta forma, ele pode demonstrar se as adubações e calagens estão sendo capazes de suprir as quantidades de nutrientes que deixam o sistema na colheita, ou se os cultivos estão complementando suas exigências nutricionais com a FBN ou com outras fontes, como o solo, reduzindo sua fertilidade (GUARESCHI et al., 2019). Na região do Vale do São Patrício (microrregião

Ceres), essas informações são escassas e sua disponibilidade pode contribuir para o uso mais sustentável do solo, justificando esse trabalho.

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

MATERIAL E MÉTODOS

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

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

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

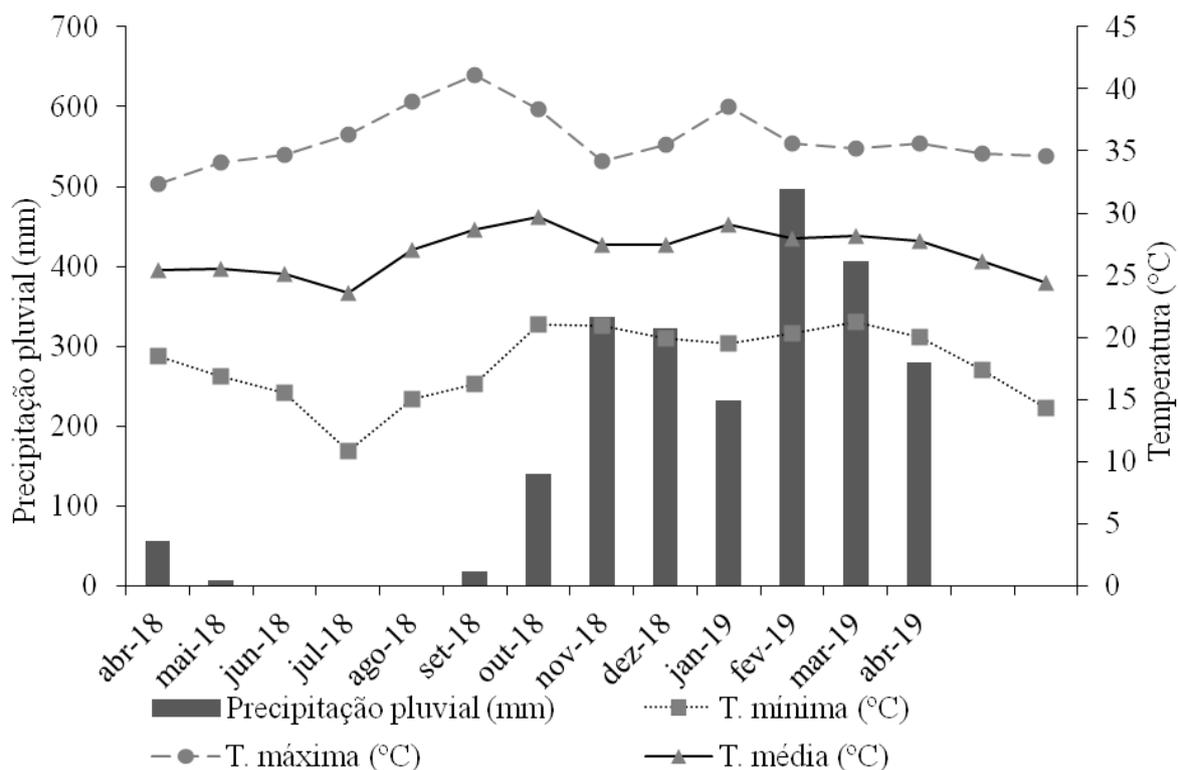
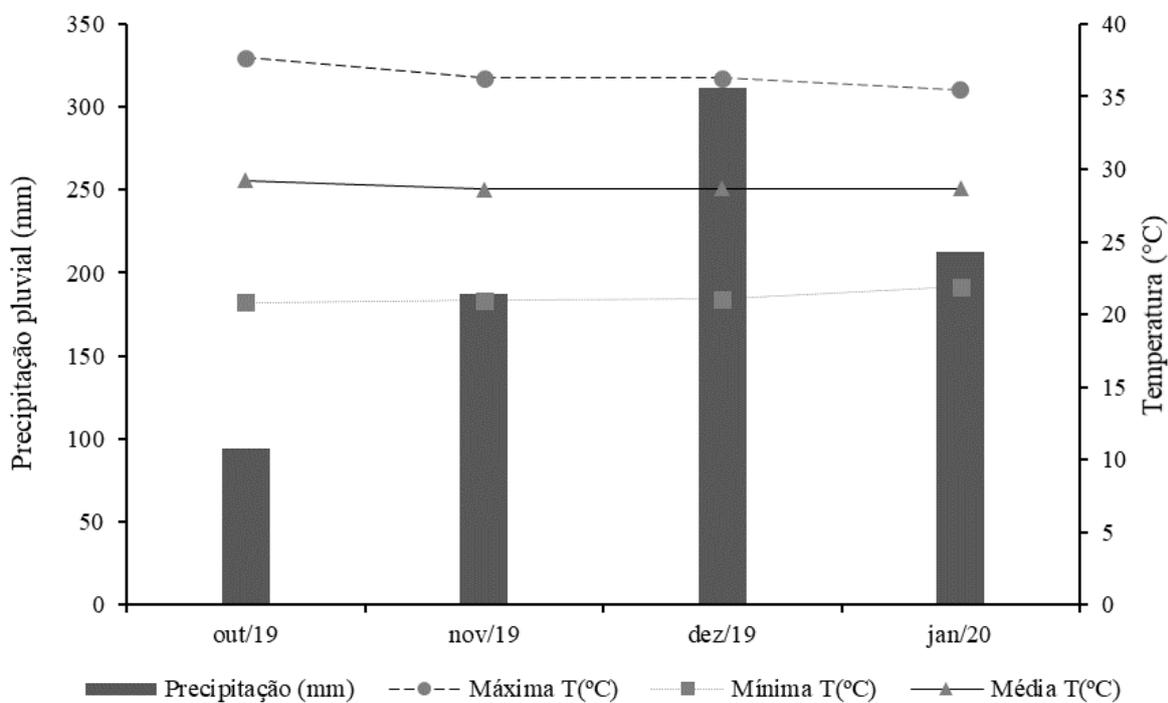


Figura 5 - Precipitação pluvial, temperatura mínima, máxima e média, durante o período de 17/10/2019 a 17/01/2020, na Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar em Ceres-GO



No período experimental de crescimento e qualidade tecnológica, houve uma precipitação de 2296,13 mm (dados não consistidos). Já no experimento de balanço

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

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

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	

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

O real fornecimento de nutrientes para cada uma das cultivares equivaleu a 12,5 kg 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 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, respectivamente, para as doses de 250, 500 e 750 kg ha⁻¹ da formulação NPK 05-25-25.

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

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

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

Crescimento e qualidade industrial

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

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

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

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

Balanço nutricional de fósforo e potássio

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

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

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

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

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

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

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

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

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

As quantidades dos nutrientes contidos na palhada (kg ha^{-1}) foram obtidas com base no total da matéria pré-seca produzida e no teor do nutriente determinado na palhada, 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

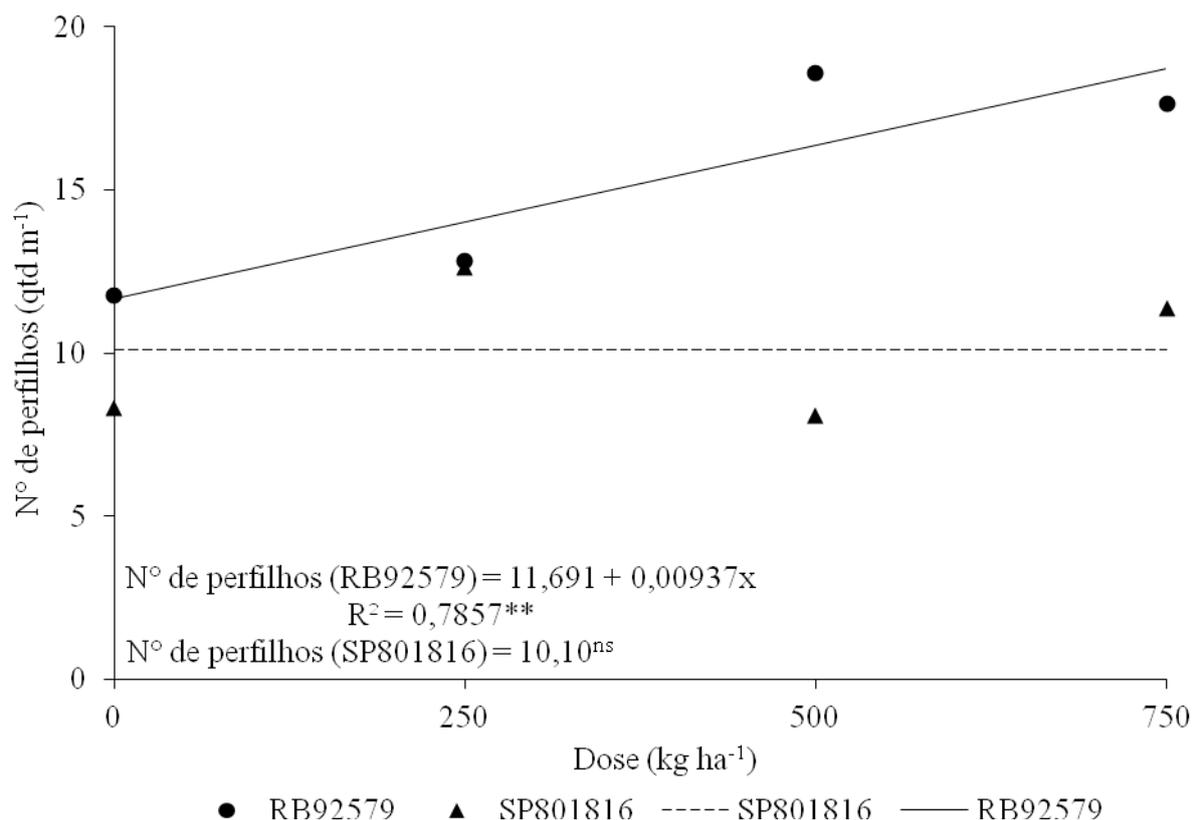
Fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), cultivar (CV), adubação (AD), época (EP), interação cultivar x adubação (CV x AD), interação cultivar x época (CV x EP), interação época x adubação (EP x AD), interação cultivar x adubação x época (CV x AD x EP). Coeficiente de variação (CV%), ^{**}Significativo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

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

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

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

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



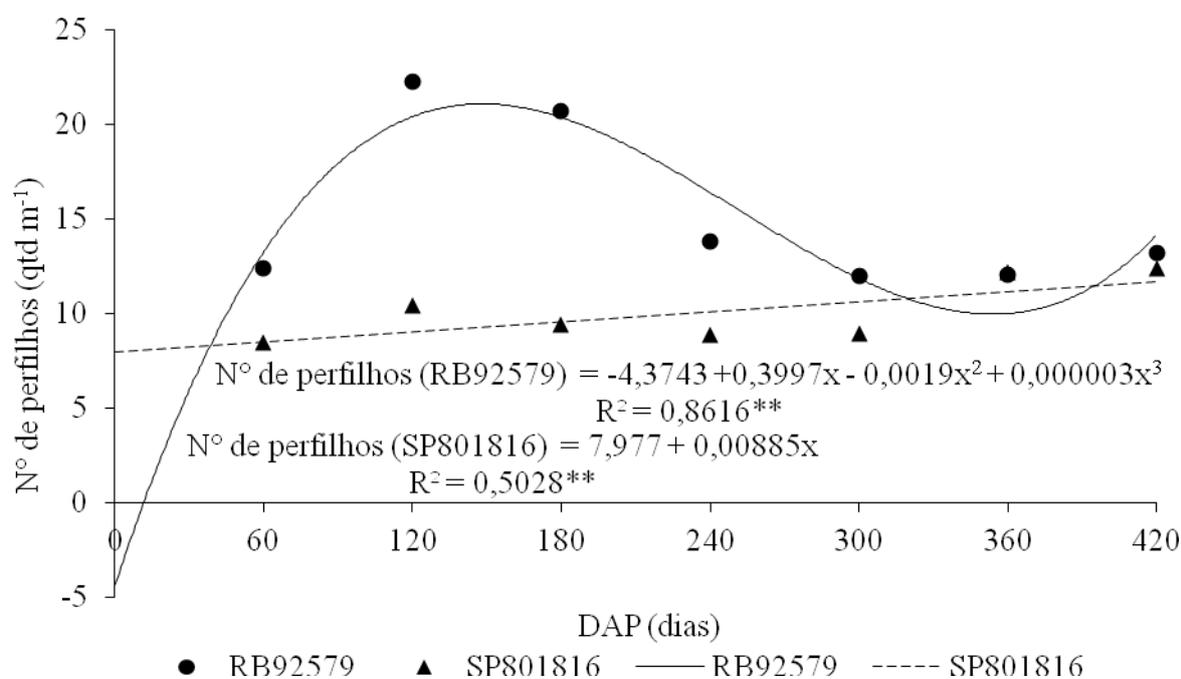
Analisando o perfilhamento das duas cultivares em relação às épocas de avaliação, verificou-se que a cultivar RB92579 ajustou-se ao modelo polinomial de terceira ordem (Figura 7), atingindo o máximo perfilhamento por volta de 150 dias. A partir desse período, ocorreu decréscimo no perfilhamento, o que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

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

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

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

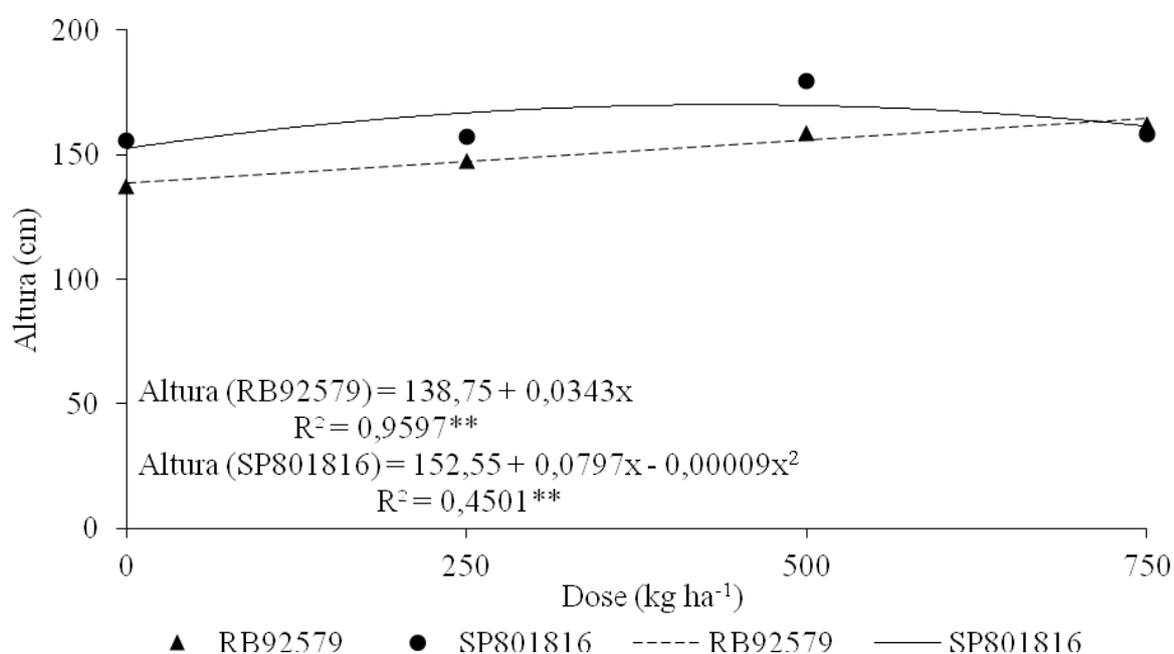
Figura 7 – Média de número de perfilhos das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK em sete épocas de avaliação



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

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

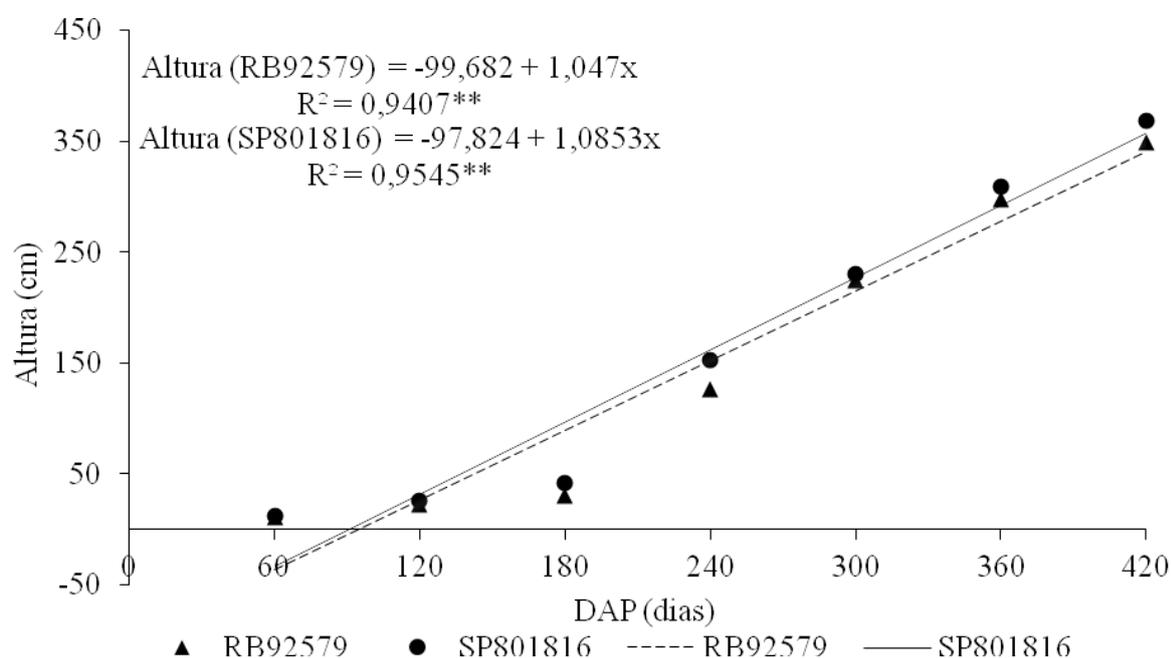
Figura 8 - Altura de plantas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar sob diferentes doses de adubação NPK 5-25-25



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

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

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

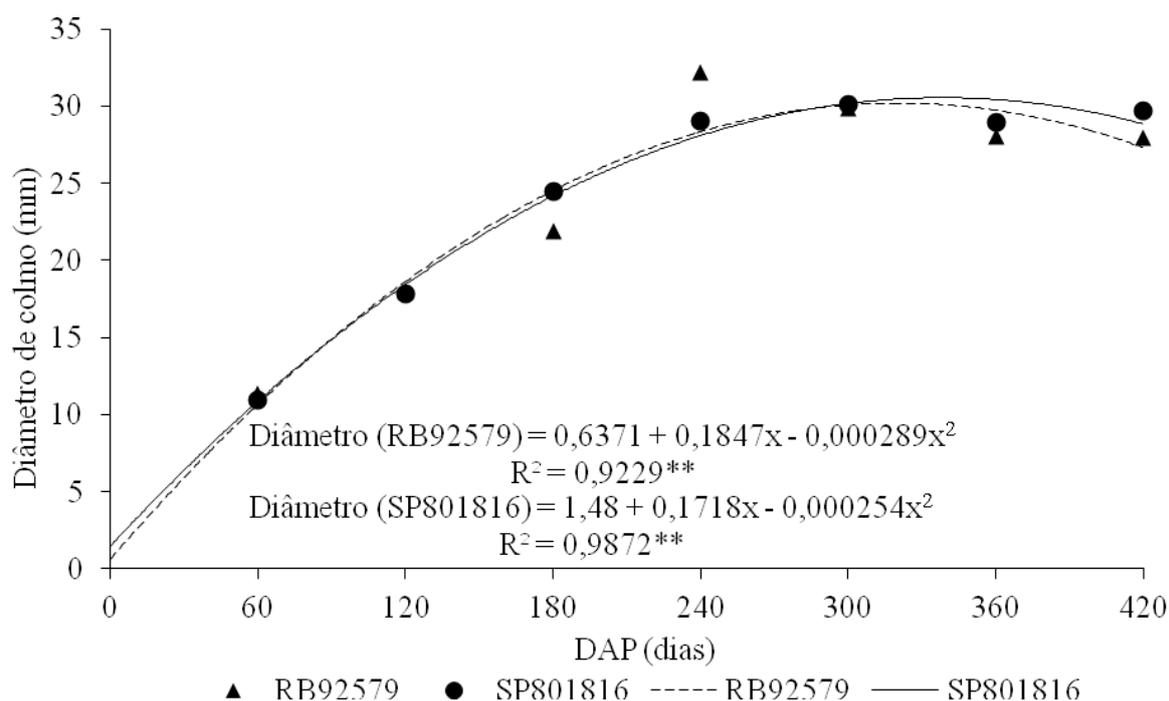


Em relação ao diâmetro de caule em função de épocas de avaliação, as cultivares apresentaram comportamentos semelhantes, com ajuste ao modelo quadrático (Figura 11), atingindo maior diâmetro aos 308 e 286,33 DAP, com valores de 29,05 e 26,07 mm, respectivamente, para as cultivares RB92579 e SP801816.

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

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

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



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

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

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

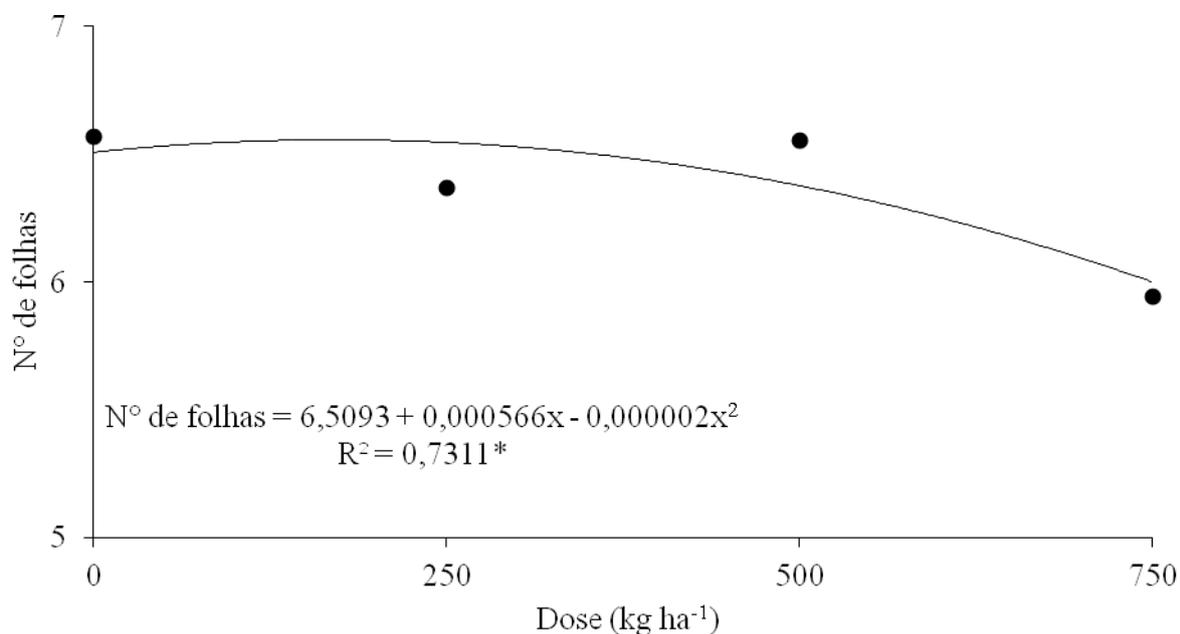
Cultivares	Número de folhas	Número de gemas
RB92579	6,13 b	7,05 b
SP801816	6,58 a	7,84 a

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

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

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

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



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

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

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

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

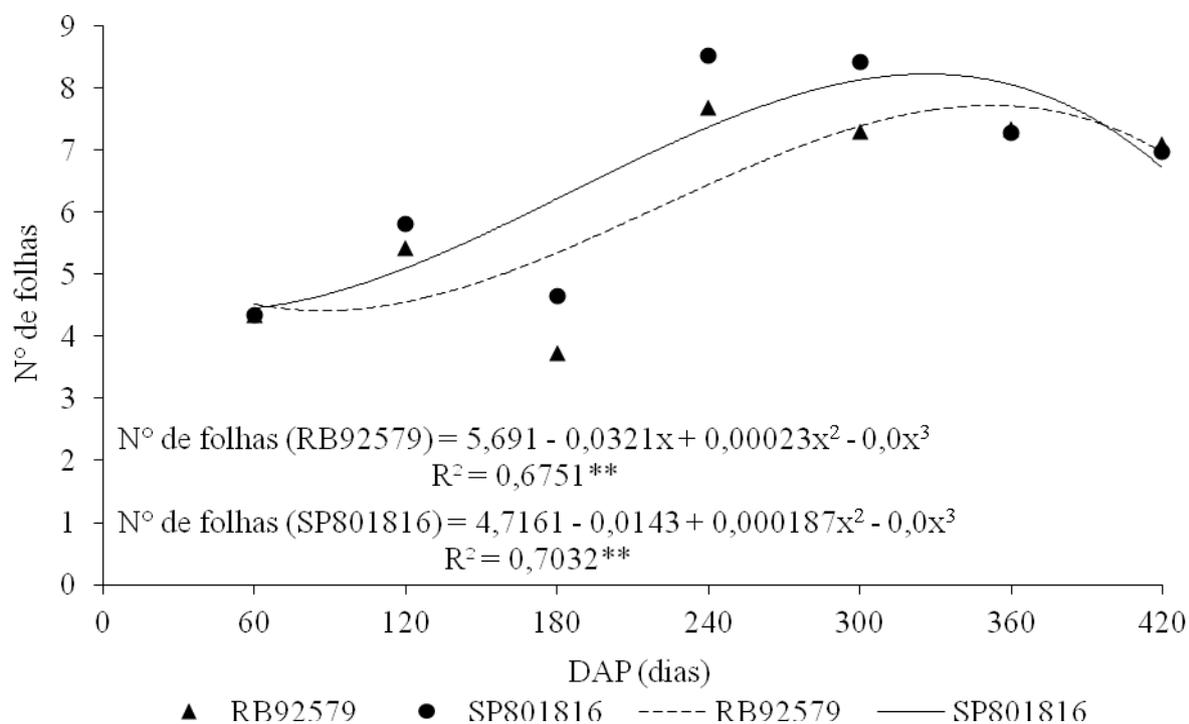
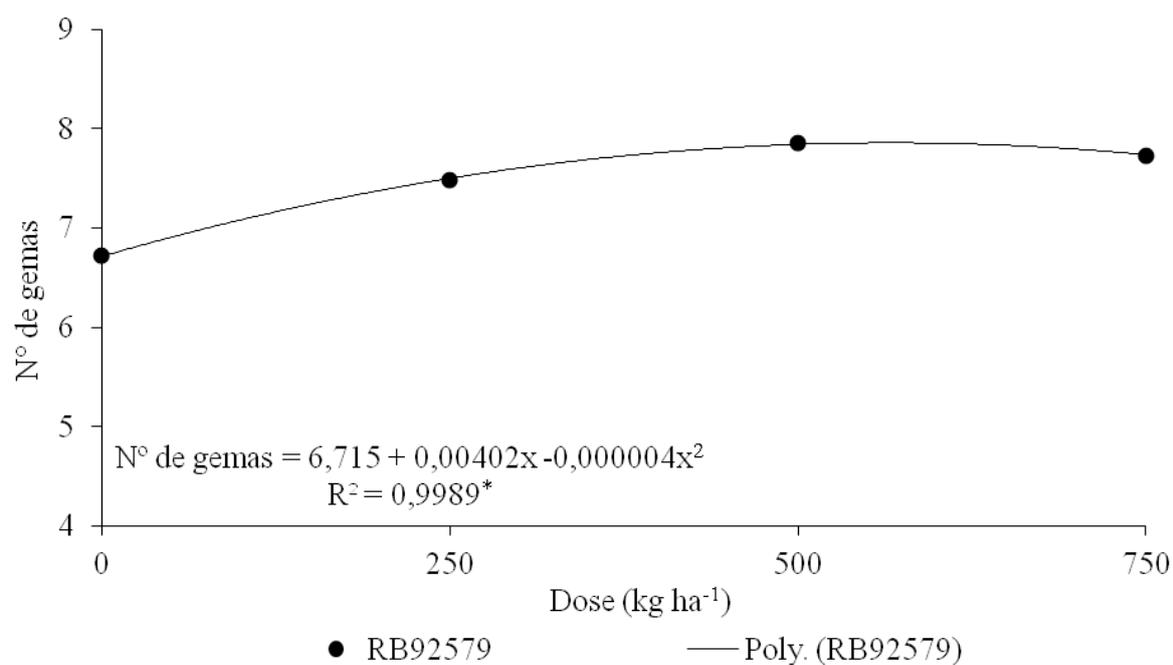


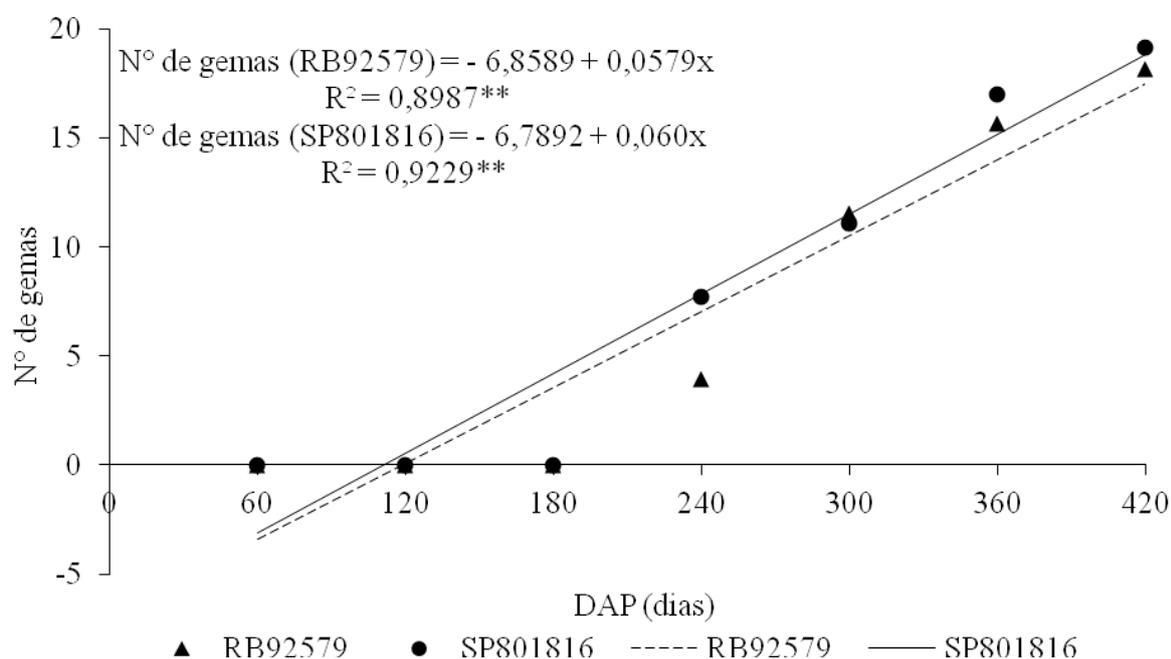
Figura 13 - Número médio de gemas das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses (fator isolado) de adubação NPK 5-25-25



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

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

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



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

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

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

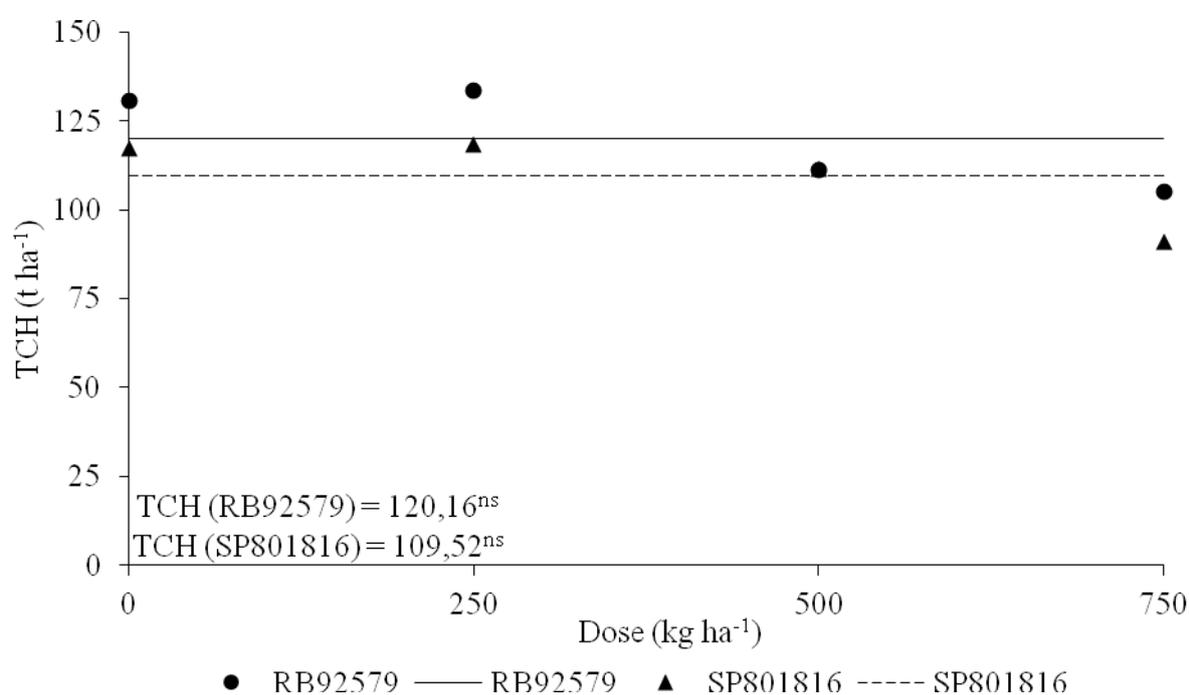
Toneladas de colmos por hectare (TCH), teor de fibra (TF), açúcares totais recuperáveis (ATR). Fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), Cultivar (CV), adubação (AD), interação cultivar x adubação (CV x AD), coeficiente de variação (CV%). **Significativo a 1%, * significativo a 5% e ^{ns} não significativo

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

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

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

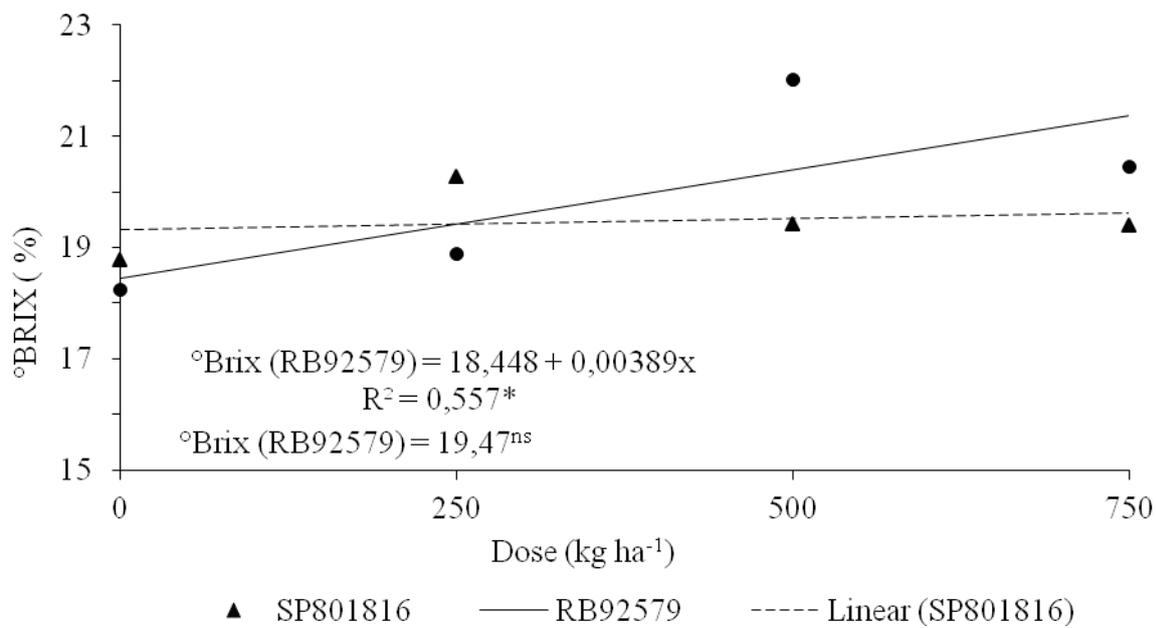
Figura 15 - Produtividade média (toneladas de cana por hectare - TCH) das cultivares RB92579 e SP801816 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes doses de adubação NPK 5-25-25



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

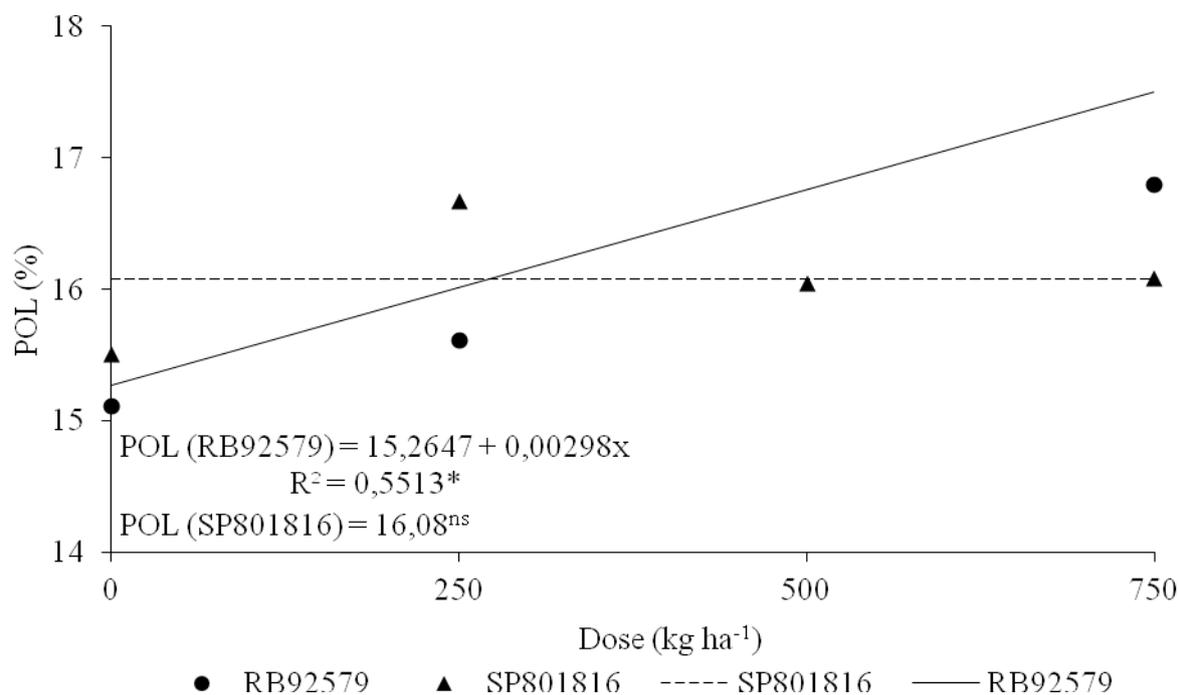
agroindustriais no município de Igarassú-PE em 16 cultivares de cana-de-açúcar em diferentes ciclos de colheita, não encontraram diferenças para °Brix.

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



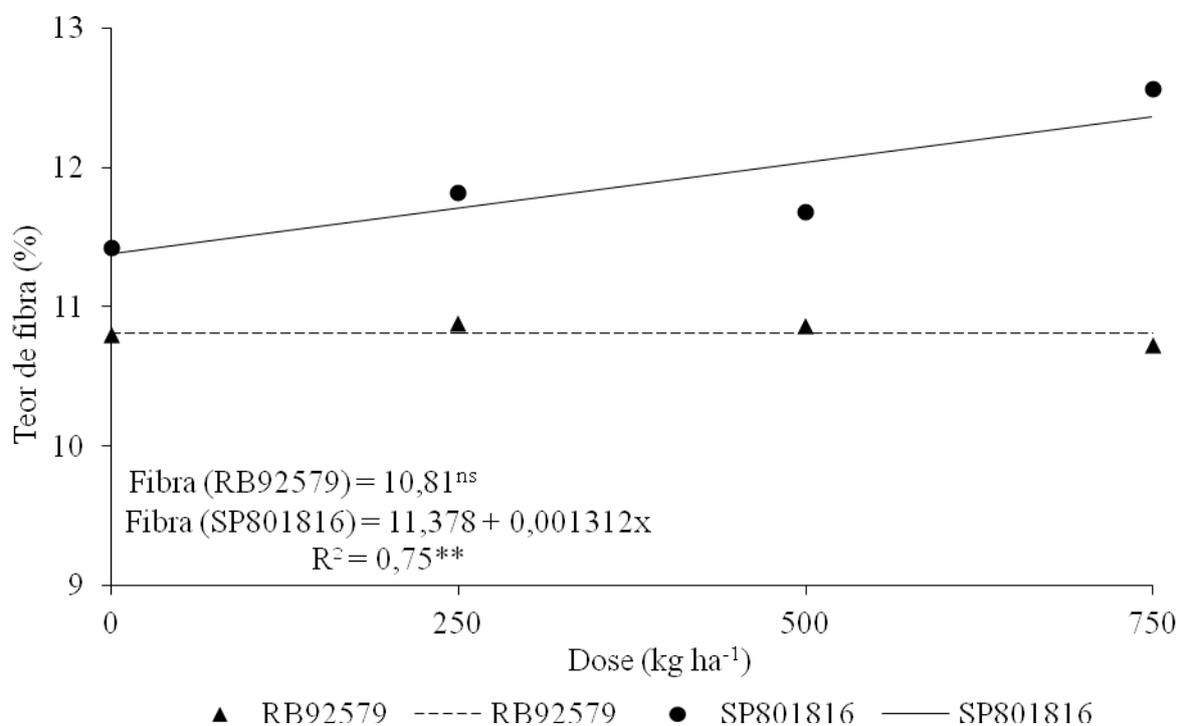
Analisando a variável Pol, observa-se ajuste ao modelo linear para a cultivar RB92579, que apresentou coeficiente de regressão relativamente baixo ($R^2 = 55,13$) (Figura 17). Para essa cultivar, a dose de NPK de máxima de resposta (750 kg ha^{-1}) provocou aumento de 14,7% no Pol em relação à testemunha,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

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



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

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

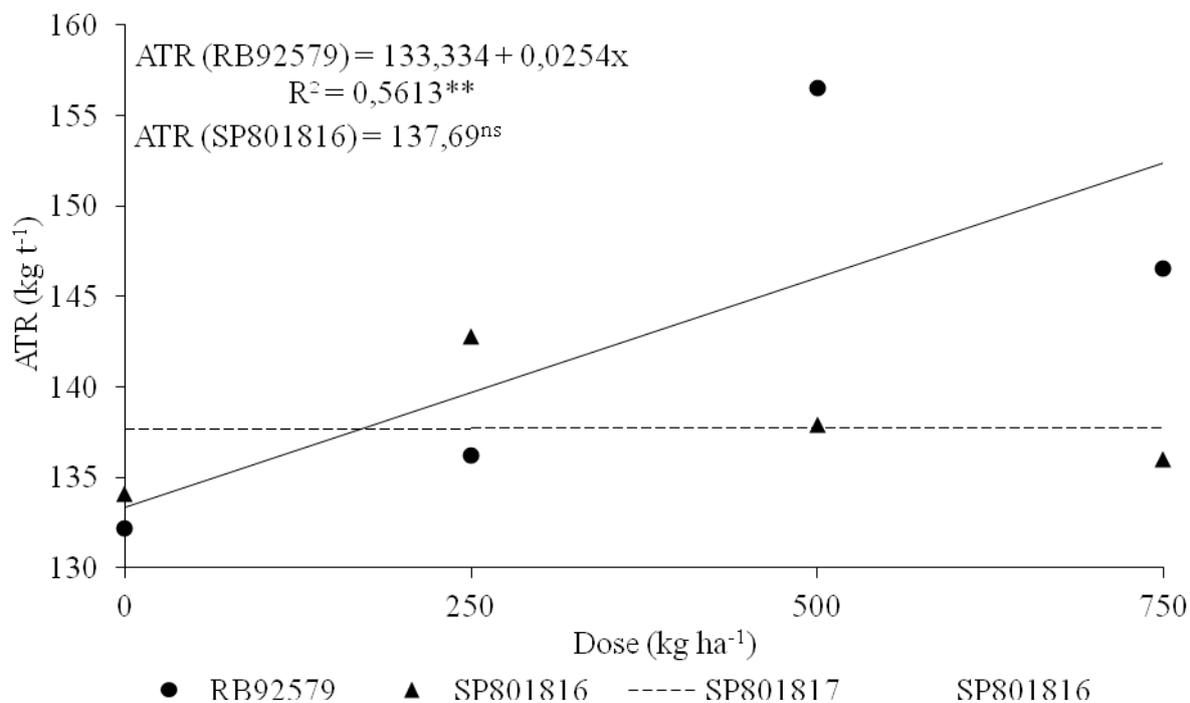


Nascimento *et al.* (2018), analisando a produção agroindustrial de cana-de-açúcar da cultivar RB92579 cultivada utilizando fertirrigação por gotejamento subterrâneo com nitrogênio e potássio, encontraram maiores valores para fibra com a adubação de 180 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo relatado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

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

na cultivar RB92579, valores ligeiramente superiores aos encontrados nesse estudo ($142,85 \text{ kg t}^{-1}$).

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONCLUSÕES

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

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

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

REFERÊNCIAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 39, p. 140–150, 2015.

BUSATO, J. G. et al. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. I - fracionamento sequencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 935–944, 2005.

BUTTERBACH-BAHL, K. et al. Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls? **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1621, p. 1–13, 2013.

CASTRO, S. G. Q. et al. Best Practices of Nitrogen Fertilization Management for Sugarcane Under Green Cane Trash Blanket in Brazil. **Sugar Tech**, v. 19, n. 1, p. 51–56, 2017.

CAVALCANTE, V. S. et al. Potassium Nutrition in Sugar Cane Ratoons Cultured in Red Latosol with a Conservationist System. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 46, p. 1–22, 2015.

CHERUBIN, M. R. et al. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils-Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 211, p. 173–184, 2015.

CHOHAN, M. et al. Effect of Inorganic NPK Different levels on Yield and Quality of Sugarcane Plant and Ratoon Crop. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v. 4, p. 3668–3674, 2013.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 12 mar. 2020.

COOPERSUCAR. **Características Agronômicas das Variedades SP**. Disponível em: <<http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/Variedades-SP.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2019.

COSTA, D. B. et al. Adubação fosfatada em cana-planta e soca em argissolos do nordeste de diferentes texturas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 47–56, 2014.

COSTA, T. S. et al. Crescimento e Produtividade de Quatro Variedades de Cana-de-Açúcar no Quarto Ciclo de Cultivo. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 56–63, 2011.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **IPNI-International Plant Nutrition Institute**, n. 130, p. 1–11, jun. 2010.

DELGADILLO-VARGAS, O.; GARCIA-RUIZ, R.; FORERO-ÁLVAREZ, J. Fertilising techniques and nutrient balances in the agriculture industrialization transition: The case of sugarcane in the Cauca River Valley (Colombia), 1943-2010. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 218, p. 150–162, 2016.

DONAGEMA, G. K. **Manual de métodos de análise de solo**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104933/1/Manual-de-Mtodos-de-Anilise-de-Solo.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

DUNGAIT, J. A. J. et al. Advances in the understanding of nutrient dynamics and management in UK agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 434, p. 39–50, 2012.

EVANGELISTA, C. R. et al. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1549–1562, 2013.

FERREIRA, D. A. et al. Contribution of N from green harvest residues for sugarcane nutrition in Brazil. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 8, n. 5, p. 859–866, 2016.

FERREIRA, E. V. DE O. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 161–169, 2011.

FRANCO, A. L. C. et al. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane expansion in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 515–516, p. 30–38, 2015.

FRANCO, H. C. J. et al. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. especial, p. 2763-2770, 2008.

GAO, W. et al. Effects of nitrogen deposition and fertilization on N transformations in forest soils: a review. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 4, p. 863–879, 2015.

GOMES, M. A. F. et al. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna-SP: EMBRAPA, 2000.

GONÇALVES, I. Z. et al. Nutritional balance and production of sugarcane irrigated with treated wastewater through subsurface drip. **Irrigation Science**, v. 37, n. 2, p. 207–217, 2019.

GOPALASUNDARAM, P.; BHASKARAN, A.; RAKKIYAPPAN, P. Integrated Nutrient Management in Sugarcane. **Sugar Tech**, v. 14, n. 1, p. 3–20, 2012.

GROENIGEN, J. W. VAN et al. The soil N cycle: new insights and key challenges. **Soil**

Journal, v. 1, p. 235–256, 2015.

GUARESCHI, R. F. G. et al. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e do Caribe. **Revista Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 2, p. 105, 2019.

GUNTIÑAS, M. E. et al. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: A laboratory study. **European Journal of Soil Biology**, v. 48, p. 73–80, 2012.

HEINRICHS, R. et al. Importance of sugarcane in brazilian and world bioeconomy. **Economic Complexity and Evolution**, p. 205–217, 2017.

HOLANDA, L. A. et al. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 573–584, 2014.

HORTA, M. C.; TORRENT, J. **Dinâmica do fósforo no solo, perspectiva agronômica e ambiental**. Castelo Branco: IPCB, 2010.

HUSSAIN, S. et al. Best suited timing schedule of inorganic NPK fertilizers and its effect on qualitative and quantitative attributes of spring sown sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 1, p. 66–71, 2017.

KAMINSKI, J. et al. Potassium availability in a hapludalf soil under long term fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 783–791, 2010.

KHALID, M. et al. The Effect of Two Different Agro Climatic Conditions on Growth and Yield Performance of Sugarcane Genotypes. **Plant Gene and Trait**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2018.

KRAAIJVANGER, R.; VELDKAMP, T. Grain Productivity, Fertilizer Response and Nutrient Balance of Farming Systems in Tigray, Ethiopia: A Multi-Perspective View in Relation to Soil Fertility Degradation. **Land Degradation and Development**, v. 26, n. 7, p. 701–710, 2015.

LEITE, J. M. et al. Nutrient partitioning and stoichiometry in unburnt sugarcane ratoon at varying yield levels. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 466, p. 1–14, 2016.

MALAVATH, R. N.; MAHESH, C.; BALAGURUVAIAH, D. Land use options and site suitability for sugarcane growing red soils, red laterite soils and black soils of Medak, district of Telangana. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 2, p. 409–416, 2018.

MCCRAY, J. M.; JI, S.; POWELL, G. Sugarcane yield response to potassium fertilization as related to extractable soil potassium on florida histosols. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 5, p.

2243–2252, 2017.

MCCRAY, J. M.; POWELL, G. Sugarcane yield response to potassium on a florida histosol. **Journal of American Society of Sugar Cane Technologists**, v. 36, n. 1963, p. 9–18, 2016.

MEDINA, N. H. et al. Dynamic distribution of potassium in sugarcane. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 126, p. 172–175, 2013.

MISHRA, A. K. et al. Iron, Manganese and Sulphur Uptake and Nutrients Availability in Sugarcane Based System in Subtropical India. **Sugar Tech**, v. 16, n. 3, p. 300–310, 2014.

MOOSHAMMER, M. et al. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: Nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. **Nature Communications**, v. 5, p. 1–7, 2014.

MOURA, J. B. et al. Adsorção de fósforo em latossolo vermelho distrófico sob vegetação de Cerrado em Rio Verde-GO. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 4, n. 3, p. 199–208, 2015.

NASCIMENTO, F. N. et al. Agro-industry production of sugarcane grown using subsurface drip fertigation with nitrogen and potassium. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 12, p. 1346–1354, 2018.

NAWAZ, M.; CHATTHA, M. U.; CHATTHA, M. B. Sugarcane processing by-product compost supplemented with inorganic fertilizers improve the growth, yield quality of spring planted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Journal of Agricultural Research**, v. 54, n. 4, p. 631–645, 2016.

NOVAIS, R.F. et al. Fósforo. In: NOVAIS, R.F, et al. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1343–1352, 2010.

OLIVEIRA, F. M. et al. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1587–1606, 2014.

OLIVEIRA FILHO, J. S. et al. Phosphorus forms and adsorption in a typic quartzipsamment cultivated with sugarcane harvested without burning. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 343–

352, 2017.

OTTO, R. et al. Nitrogen Use Efficiency for Sugarcane-Biofuel Production: What Is Next? **Bioenergy Research**, v. 9, n. 4, p. 1272–1289, 2016.

OTTO, R. et al. Effect of previous soil management on sugarcane response to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 1, p. 72–81, 2018.

PHILIPPOT, L. et al. Loss in microbial diversity affects nitrogen cycling in soil. **ISME Journal**, v. 7, n. 8, p. 1609–1619, 2013.

PONETTE-GONZÁLEZ, A. G. et al. Nitrogen cycling in tropical Atlantic Forest differing in exposure to urban atmospheric nitrogen deposition. **Plant and Soil**, v. 420, n. 1–2, p. 451–465, 2017.

RIDESA. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/2012-10-31-11-22-CatalogodeVariedadesRB.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2019.

ROBERTO, G. G. et al. Variação da fotossíntese e dos teores de carboidratos induzidos por etefom e déficit hídrico na fase de maturação da cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 74, n. 4, p. 379–386, 2015.

ROBERTS, T. L.; JOHNSTON, A. E. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 275–281, 2015.

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Potassium supply as affected by residual potassium fertilization in a Cerrado Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1507–1515, 2012.

ROSSI, C. Q. et al. Fósforo em cronosequência de cana-de-açúcar queimada no cerrado goiano - Análise de ácidos húmicos por RMN de ³¹P. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1126–1130, 2013.

SANTANA, J. A. S. et al. Decomposição da biomassa foliar de cana-de-açúcar em um neossolo na região de Areia-PB. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 28–32, 2011.

SANTOS, D. H. et al. The effect of filter cakes enriched with soluble phosphorus used as a fertilizer on the sugarcane ratoons. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, n. 3, p. 365, 2014.

SANTOS, R. L. et al. Productivity and technological quality of sugarcane under fertilization of nitrogen and molybdenum. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 18, n. 4, p.

1002–1020, 2018.

SCHULTZ, N. et al. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 811–820, 2010.

SEDIYAMA, M. A. N. et al. Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro cultivado com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p. 421–425, 2009.

SEIXAS, A. A.; TEIXEIRA, F. A. **Nitrogênio, fósforo e potássio na nutrição de gramíneas: Disponibilidade, formas, absorção e funções**. [s.l.] Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2019.

SHEN, J. et al. Phosphorus dynamics: From soil to plant. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 997–1005, 2011.

SHIKIDA, P. F. A. Evolução e fases da agroindústria canavieira no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 4, p. 43–57, 2013.

SILVA, F. C. Análise q. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: [s.n.], p. 627.

SILVA FILHO, L. A. et al. Alocação espacial de estabelecimentos e de emprego formal no cultivo de cana-de-açúcar : Brasil – 1994-2011. **Revista de Economia e Tecnologia**, v. 10, n. 4, p. 37–50, 2014.

SILVA, H. C. et al. Repeatability of agroindustrial characters in sugarcane in different harvest cycles. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 49, n. 2, p. 275–282, 2018.

SILVA, M. D. A.; JERONIMO, E. M.; LÚCIO, A. D. COL. Height of cut and harvest period effects on tillering and yield of sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 979–986, 2008.

SILVA, N. F. et al. Perfilhamento da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3, p. 91–101, 2015.

SILVA, N. F. et al. Development and Yield of Irrigated Sugarcane as Affected by Nitrogen Sources and Rate in Brazilian Cerrado Oxisol. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 3, p. 267, 2019.

SILVA, T. G. F. et al. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 87, p. 1257–1265, 2011.

SILVA, V. S. G. et al. Leaf area of sugarcane varieties and their correlation with biomass productivity in three cycles. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 7, p. 459–466, 2017a.

SILVA, V. S. G. et al. Agro-industrial quality of plant cane, first and second ratoon in sugarcane varieties. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 09, p. 1216–1220, 2017b.

SOOMROA, A. F. et al. Effect of inorganic NPK fertilizers under different proportions on growth, yield and juice quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* L). **Pure and Applied Biology**, v. 3, n. 1, p. 10–18, 2014.

THIAGO, R. et al. Phosphate Fertilizers for Sugarcane used at Pre - Planting (Phosphorus Fertilizer Application). **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 9, p. 1444–1455, 2015.

URIBE, R. A. M. et al. Estimativa do acúmulo de fitomassa da soqueira de cana-de-açúcar fertitigada com doses de N-fertilizante utilizando modelo de simulação. **Irriga**, n. 2001, p. 126–139, 2016.

VAN BEEK, C. L. et al. Soil nutrient balances under diverse agro-ecological settings in Ethiopia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 106, n. 3, p. 257–274, 2016.

VANLAUWE, B. et al. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Unravelling local adaptation. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 491–508, 2015.

VASANTHA, S.; GUPTA, C.; SHEKINAH, D. E. Physiological studies on tiller production and its senescence in sugarcane - Response comparison between plant and ratoon crops. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 84, n. 1, p. 24–27, 2014.

VIEIRA-MEGDA, M. X. et al. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 101, n. 2, p. 241–257, 2015.

VINICIUS, S. G. DA S. et al. Nutritional diagnosis of sugarcane varieties in a Yellow Oxisol during three agricultural seasons. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 1, p. 50–57, 2017.

WALTERS, J. P. et al. Exploring agricultural production systems and their fundamental

components with system dynamics modelling. **Ecological Modelling**, v. 333, p. 51–65, 2016.

WHITEHEAD, P. G.; CROSSMAN, J. Macronutrient cycles and climate change: Key science areas and an international perspective. **Science of the Total Environment**, v. 434, p. 13–17, 2012.

YADAV, B. K.; SIDHU, A. S. Dynamics of Potassium and Their Bioavailability for Plant Nutrition. **Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture**, v. 1, p. 187–201, 2016.

ZHU, X. et al. Impacts of nitrogen deposition on soil nitrogen cycle in forest ecosystems: A review. **Acta Ecologica Sinica**, v. 35, n. 3, p. 35–43, 2015.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656–669, 2014.