



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**DINÂMICA DE POTÁSSIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM
CANA-SOCA SOB CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE
CERRADO**

ALINE FRANCIEL DE ANDRADE

Orientador: **Prof. Dr. Rilner Alves Flores**

Dezembro – 2018

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ Dissertação ☐ Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Aline Franciel de Andrade

Título do trabalho: **DINÂMICA DE POTÁSSIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM CANA-SOCA SOB CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE CERRADO.**

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Aline Franciel de Andrade

Assinatura da autora

Ciente e de acordo:


Prof. Dr. Rilner Alves Flores
Orientador

Data: 10 / 12 / 18

1 Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

ALINE FRANCIEL DE ANDRADE

**DINÂMICA DE POTÁSSIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM
CANA-SOCA SOB CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE
CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solo e Água

Orientador:

Prof. Dr. Rilner Alves Flores

Coorientador:

Prof. Dr. Derblai Casaroli

Goiânia, GO – Brasil
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Andrade, Aline Franciel de

Dinâmica de potássio no sistema solo-planta em cana-soca sob
condições edafoclimáticas de cerrado [manuscrito] / Aline Franciel de
Andrade. - 2018.

87 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rilner Alves Flores; coorientador Dr.
Derblai Casaroli.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás,
Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EAEA),
Programa de Pós Graduação em Agronomia, Goiânia, 2018.

Bibliografia.

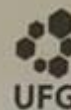
Inclui gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. *Saccharum spp.* 2. cloreto de potássio. 3. balanço de potássio.
4. taxa de decomposição. 5. Cerrado. I. Flores, Rilner Alves, orient.
II. Título.

CDU 631/635

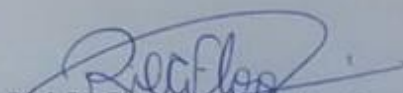


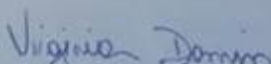
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

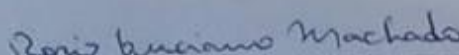


ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e seis dias do mês de novembro do ano de dois mil e dezoito (26.11.2018), às 13h30min, no auditório do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – EA/UFV, reuniu-se a Banca Examinadora, composta pelos membros, Prof. Dr. Rilner Alves Flores - Orientador e Presidente da Banca, Prof^ª. Dr^ª. Virginia Damin e Prof. Dr. Roriz Luciano Machado, para a realização da sessão pública da defesa de Dissertação intitulada: **"Dinâmica de potássio no sistema solo-planta em cana-soca sob condições edafoclimáticas de Cerrado"**, de autoria de **Aline Franciel de Andrade**, discente do curso de **Mestrado**, na área de concentração em **Solo e Água**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFV. A sessão foi aberta pelo presidente, que fez a apresentação formal dos membros da Banca e deu início as atividades relativas à defesa da Dissertação. Passou a palavra a mestranda que em quarenta minutos apresentou o seu trabalho. Após a exposição, a candidata foi arguida pelos membros da banca. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com Resolução CEPEC 1403/2016, de 10 de junho de 2016 que regulamenta os Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* na UFV, a Banca Examinadora considerou a Dissertação **"APROVADA"**, com as correções recomendadas, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRA** em Agronomia, na área de concentração em **SOLO E ÁGUA**, pela Universidade Federal de Goiás. A mestranda poderá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar nova versão eletrônica da Dissertação à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da defesa. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa Dissertação, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de acatadas as modificações sugeridas. Para finalizar, o Presidente agradeceu os membros examinadores, congratulou-se com a mestranda e encerrou a sessão às 17h40min, para constar, eu Welinton Barbosa Mota, secretário do PPGA, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.


Prof. Dr. Rilner Alves Flores
Presidente da Banca - EA/UFV


Prof.ª Dr.ª Virginia Damin
Membro - EA/UFV


Prof. Dr. Roriz Luciano Machado
Membro - IFGoiano-Ceres

*Aos meus pais, Maurílio Balduino de
Andrade e Divina da Penha Silva de
Andrade, por todo amor, compreensão
e incentivo para atingir meus
objetivos.*

Dedico

*Ao meu irmão, Alan Cezar Balduino,
pelos conselhos, apoio, paciência e
principalmente pela amizade.*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus pela preciosidade da vida, por sempre me dar forças e estar presente em minhas decisões.

Aos meus pais, Maurílio e Divina, e meu irmão Alan, pelo apoio incondicional em todos os momentos de minha vida.

Ao Prof. Dr. Rilner Alves Flores pela orientação, ensinamentos, confiança, e, sobretudo, pelo exemplo de dedicação à pesquisa. Meu muito Obrigada.

À Universidade Federal de Goiás, em especial à Escola de Agronomia, pela oportunidade de realização do Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Mestrado.

Ao Prof. Dr. Derblai Casaroli pela coorientação.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solo e Água da Escola de Agronomia - UFG, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos amigos e colegas do curso de Pós-Graduação: Amanda Magalhães Bueno, Frederico Raimundo Simões de Lima, Jaqueline Lima da Conceição, Leonardo Rodrigues Barros, Camila Martins, agradeço muito pelo auxílio nas avaliações de campo e laboratório, coletas de solos, e colheita do experimento.

Aos alunos de graduação, integrantes do grupo de pesquisa NutriHerb: Luiz Eduardo, Nicolas, Ana Carla, Renato, Vitor, Sarah, Filipe, Igor, Amanda, Máira, Thaís, Marco Aurélio, Ana Flávia, Larissa, pelo convívio, amizade e aprendizado compartilhado.

Ao Coordenador de Produção Agrícola da Usina Goiasa, Eduardo Parra Marques, pela disponibilização da área para condução do experimento e por todo o auxílio necessário. Estendo meu agradecimento aos demais funcionários da Usina Goiasa pela ajuda nas atividades de campo.

Aos funcionários do Departamento de Solos, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

A todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	12
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR	16
2.2 RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR À ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	17
2.3 FUNÇÕES DO POTÁSSIO NOS ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DAS PLANTAS	19
2.4 BALANÇO DO POTÁSSIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA	20
2.5 MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	22
2.6 DINÂMICA DE POTÁSSIO NO SOLO.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 LOCAIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	30
3.3 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	31
3.4 LIXIVIAÇÃO DE POTÁSSIO	32
3.5 VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE K PELA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR	32
3.6 BALANÇO DE K NO SOLO	33
3.7 AVALIAÇÕES DE DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO	34
3.7.1 Altura de plantas, diâmetro do colmo e número de perfilhos	34
3.7.2 Área foliar	34
3.7.3 Índice Relativo de Clorofila – IRC	35
3.7.4 Trocas gasosas.....	35
3.7.5 Diagnose Foliar	36
3.7.6 Produtividade de colmos	37
3.7.7 Fitomassa seca da parte aérea e exportação de K pela cana-de-açúcar	37
3.7.8 Análises tecnológicas	38
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 BALANÇO HÍDRICO	39
4.2 TEORES DE K NO SOLO	40
4.3 VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE K DA PALHA.....	46
4.4 BALANÇO DE K	51
4.5 AVALIAÇÕES BIOMÉTRICAS E DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR	57

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
6	REFERÊNCIAS	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área em estudo em quatro profundidades, antes da implantação do experimento.....	28
Tabela 2. Coeficiente de cultura (kc) para cana planta e cana soca em diferentes períodos de desenvolvimento.....	31
Tabela3. Balanço do K em função da aplicação de doses de potássio, de 0,0 a 0,8 m, considerando o K no solo antes da implantação do experimento (K_i), K liberado pela palha da cana ($K_{i\text{palha}}$), K aplicado via adubação (K_{apl}), K do ponteiro (K_{pont}), K exportado pelos colmos de cana-de-açúcar (K_{exp}), K restante na palha da cana-de-açúcar ao final do ciclo da cultura ($K_{f\text{palha}}$), e K extraível por Mehlich 1 ao final do experimento ($K_{mehlich\ 1}$).....	52
Tabela 4. Altura de plantas e diâmetro do colmo da soqueira de cana-de-açúcar, aos 180, 240 e 300 DAB, em função da aplicação de potássio no solo.....	57
Tabela 5. Área foliar (AF) e índice relativo de clorofila (IRC) da soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo.....	62
Tabela 6. Rendimento quântico máximo (F_v/F_m) em plantas de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de adubação potássica.....	67
Tabela 7. Teor foliar de potássio em plantas de cana-de-açúcar submetidas a doses crescentes de adubação potássica.....	68
Tabela 8. Produção de colmos e acúmulo de potássio nas folhas e colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo.....	70
Tabela 9. Qualidade tecnológica dos colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática da dinâmica do potássio no sistema solo-planta.....	24
Figura 2. Precipitação pluvial e temperatura média mensal, durante o período de junho de 2017 a maio de 2018, no Setor Alvorada, área cedida pela Usina Goiás para condução do experimento, em Bom Jesus de Goiás-GO.....	28
Figura 3. Resistência do solo à penetração na amostragem realizada em junho de 2017 na camada de 0,0 a 0,70 m, cuja umidade do solo no momento da avaliação foi de 27,51 %, 24,76%, 24,83% e 18,98 %, nas profundidades de 0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, respectivamente.....	29
Figura 4. Curva fotossintética de resposta da planta à luz, em condições de $[CO_2]$ ambiente ($\sim 491 \mu mol mol^{-1}$).....	36
Figura 5. Extrato do balanço hídrico da cultura de cana-de-açúcar com excedente hídrico (EXC, mm) e deficiência hídrica (DEF, mm) para o município de Bom Jesus de Goiás, GO, correspondente ao período de janeiro de 2017 a agosto de 2018.....	39
Figure 6. Teor de potássio (K) trocável no solo aos 180 DAB nas camadas 0-0,20 m, 0,20—0,40 m, 0,40-0,60 m e 0,60-0,80 m em função da aplicação de doses de adubação potássica no solo. ^{ns} e ** – não-significativo à 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....	42
Figure 7. Teor de potássio (K) trocável no solo aos 330 DAB nas camadas 0-0,20 m, 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m e 0,60-0,80 m em função da aplicação de doses de adubação potássica no solo. * e ** – significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....	42
Figura 8. Potássio acumulado em profundidade, aos 180 DAB, em função da aplicação de doses de adubação potássica no solo.....	43
Figura 9. Potássio acumulado em profundidade, aos 330 DAB, em função da aplicação de doses de adubação potássica no solo.....	44
Figura 10. Massa seca remanescente da palhada de cana-de-açúcar ($kg ha^{-1}$) ao longo de um ciclo (300 dias).....	46
Figura 11. Teor de potássio remanescente da palhada de cana-de-açúcar ($kg ha^{-1}$) ao longo de um ciclo (300 dias).....	49

Figura 12. Porcentagem (%) de K remanescente na palhada de cana-de-açúcar ao longo de um ciclo (300 dias).....	50
Figura 13. Balanço de potássio no solo para cultivo da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo.....	53
Figura 14. Número de perfilhos aos 60, 120, 180, 240 e 300 DAB da soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo. ^{ns} , ** – não-significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....	59
Figura 15. Efeito da aplicação de K ₂ O na condutância estomática (Gs) de plantas de cana-de-açúcar. ^{ns} , ** – não-significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....	63
Figura 16. Efeito da aplicação de K ₂ O na transpiração (E) de plantas de cana-de-açúcar. ^{ns} , ** – não-significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....	64
Figura 17. Fotossíntese (A) em função de doses de K ₂ O aplicadas no solo para cultivo de cana-de-açúcar. ^{ns} , * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....	65
Figura 18. Concentração interna de CO ₂ (Ci) em função de doses de K ₂ O aplicadas no solo para cultivo de cana-de-açúcar. ^{ns} , * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....	66
Figura 19. Teor de K na folha +1 aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias após a brotação da soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo. ^{ns} , * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....	69
Figura 20. Acúmulo de potássio nas folhas e colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo. ** – significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....	70

RESUMO

ANDRADE, A. F. **Dinâmica de potássio no sistema solo-planta em cana-soca sob condições edafoclimáticas de Cerrado**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2018.¹

A cultura da cana-de-açúcar destaca-se como a fonte de energia renovável mais utilizada no Brasil apresentando elevada produtividade e boa adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras. Devido à elevada produção de fitomassa, a extração de nutrientes do solo também é alta. Dentre eles, o potássio (K) apresenta funções importantes relacionadas aos processos fisiológicos no tecido vegetal, sendo o nutriente mais extraído pela cultura. Devido aos baixos teores naturais de K em solos tropicais torna-se necessário a sua complementação para atender a demanda da cultura para atingir altas produtividades. Diante disto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação potássica na dinâmica de potássio no sistema solo-planta e seus impactos na produtividade, parâmetros fisiológicos e morfológicos da cana-de-açúcar em condições edafoclimáticas de Cerrado. O experimento foi conduzido na Usina Goiasa, em Bom Jesus de Goiás, GO, durante a safra 2017/18, em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura argilosa (440 g kg⁻¹ de argila), utilizando a variedade de cana-de-açúcar IAC 91-1099. Os tratamentos foram constituídos por cinco doses de K₂O, (0 (controle), 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O), com cinco repetições. Avaliou-se: o balanço hídrico climatológico para área de estudo; o teor de K no solo (até 0,8 m) e na planta (folha e colmo); variáveis biométricas (altura da planta, diâmetro do colmo, número de perfilhos e área foliar), variáveis fisiológicas (fotossíntese, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e índice relativo de clorofila); produção de colmos e qualidade tecnológica dos colmos. Ainda, foram avaliadas as taxas de decomposição e de liberação de K pela palhada de cana-de-açúcar e o balanço de K no sistema solo-planta. Os dados foram submetidos à análise de variância, procedendo-se análise de regressão polinomial para as variáveis significativas. O aumento da dose de fertilizante potássico intensificou a movimentação do íon K⁺ no solo até a profundidade de 0,8 m com aumento de 55% no teor de K entre o tratamento sem aplicação de K e com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de K₂O, em avaliação realizada aos 180 dias após a brotação, e acréscimo de 20% ao final do experimento. A palha da cana-de-açúcar contribuiu fornecendo 79,25 kg ha⁻¹ de K no solo, sendo necessário aproximadamente 70 dias para que 50% deste total fossem disponibilizados. Verificou-se uma redução de massa da palhada de cana-de-açúcar de aproximadamente 49,03% ao longo de 300 dias, sendo necessários 345 dias para que metade desse material se decomponha. O balanço de K no sistema solo-planta, para a aplicação anual de 150 kg ha⁻¹ de K₂O, resultou em um saldo de K no solo de 133,22 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo a dose que mais contribuiu para aumentar as reservas do solo. As doses de K estudadas apesar de não exerceram influência sobre o crescimento da cana-de-açúcar, apresentaram efeito significativo sobre variáveis fisiológicas como transpiração e fotossíntese. O maior aporte de K no solo em função dos tratamentos não resultou em diferença na produtividade de colmos, no entanto, ao se pensar na sustentabilidade do sistema produtivo para a cultura, a dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionou maior incremento das reservas de K no solo.

Palavras-chave: *Saccharum spp*, cloreto de potássio, balanço de potássio, taxa de decomposição, Cerrado.

¹ Orientador: Prof. Dr. Rilner Alves Flores. EA-UFG.
Coorientador: Prof. Dr. Derblai Casaroli. EA-UFG.

ABSTRACT

ANDRADE, A. F. **Potassium dynamics in soil-plant system in sugarcane ratoon under edaphoclimatic conditions of Cerrado**. 2018. 87 f. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2018.²

The sugarcane crop stands out as the most used renewable energy source in Brazil presenting high yields and good adaptation to Brazilian soil and climate conditions. Due to the high biomass production, the nutrient uptake from soil is also high. Among them, Potassium (K) has important functions related to the physiological processes in plant tissues, being the most extracted nutrient by sugarcane crop. Due to low natural K contents in tropical soils, it is necessary to complement it with fertilizer applications in order to meet the crop demands and achieve high yields. Therefore, the objective of this study was to evaluate the dynamics of potassium in the soil-plant system during the first sugarcane ratoon period as a function of potassium nutrition under the Cerrado of Goiás edaphoclimatic conditions. The experiment was conducted at the Goiasa Plant, in Bom Jesus de Goiás, GO, during the 2017/18 season, in a dystrophic RED LATOSOL, clayey texture (440 g clay kg⁻¹), using the variety IAC 91-1099. Treatments consisted of five K₂O rates, (0 (control), 50, 100, 150 and 200 kg K₂O ha⁻¹), with five replicates. We evaluated: the climatic water balance for the area; the soil (up to 0.8 m) and plant K content (leaf and stem); biometric variables (plant height, stem diameter, number of tillers and leaf area); physiological variables (photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, internal CO₂ concentration and relative chlorophyll index); stem yield and technological quality. Also, decomposition rate and K release by the sugarcane straw as well as K balance in the soil-plant system were evaluated. Data were submitted to analysis of variance, and polynomial regression analysis was performed for the significant variables. The increase in Potassium fertilizer rate intensified the movement of the K⁺ ion in soil to the depth of 0.80 m with a 55% increase in K content between the control treatment and the 200 kg K₂O ha⁻¹ rate, in an evaluation performed at 180 days after sprouting, and a 20% increase at the end of the experiment. Sugarcane straw provided 79.25 kg K ha⁻¹ to the soil, requiring approximately 70 days so 50% of this total would be available. There was a reduction of about 49.03% in straw production over 300 days, requiring 345 days so half of this material would decompose. K balance in the soil-plant system, for the annual application of 150 kg K₂O ha⁻¹ resulted in soil K balance of 133.22 kg ha⁻¹ year⁻¹, being the treatment that most contributed to increase soil K contents. Although the K rates in this experiment did not influence sugarcane growth, they presented a significant effect on physiological variables such as transpiration and photosynthesis. The higher K input in the soil as a function of the treatments did not result in differences in stem yield, however, when thinking about the sustainability of the productive system for sugarcane crops, the 150 kg K₂O ha⁻¹ rate increased soil K contents.

Keywords: *Saccharum spp*, potassium chloride, potassium balance, decomposition rate, Cerrado.

²Advisor: Prof. Dr. Rilner Alves Flores. EA-UFG.
Co-advisor: Prof. Dr. Derblai Casaroli. EA-UFG.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com aproximadamente 8,73 milhões de hectares cultivados e produção estimada em 633,26 milhões de toneladas (safra 2017/18), conforme acompanhamento da safra brasileira da cana-de-açúcar (Conab, 2018). O Estado de Goiás vem aumentando cada vez mais sua importância no cenário nacional dessa cultura, sendo atualmente o segundo maior produtor no país, com aproximadamente 911,60 mil hectares colhidos, com produção estimada em 70,62 milhões de toneladas, 4,43% superior à safra passada, e produtividade média de 77,47 t ha⁻¹ (Conab, 2018).

Em decorrência da grande quantidade de nutrientes que são extraídos pela cana-de-açúcar, a prática da adubação é de grande importância nos solos cultivados com esta cultura (Almeida, 2013). Segundo Malavolta (1982), o potássio (K) é o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar, sendo que, para cada 100 t ha⁻¹ de colmos, são exportados 150 kg ha⁻¹ de K₂O. O Brasil consome aproximadamente 14 % do K₂O produzido no mundo (cerca de 3.900 toneladas por ano) e 18 % desse total é utilizado em lavouras de cana-de-açúcar (IFA, 2017). O Brasil é totalmente dependente da importação de K₂O para suprir sua demanda interna. Desde 1961 o consumo nacional cresce em estreita relação com a importação, evidenciando crescente demanda por esse nutriente no país (IFA, 2017).

A expansão do setor sucroalcooleiro, com crescimento na última década de 379% da área plantada na região Centro-Oeste, passou a exigir o desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao manejo da cana-de-açúcar no Cerrado. A produtividade de colmos na região do Cerrado é inferior à registrada no estado de São Paulo que responde por 53% da área plantada com cana-de-açúcar no país. No período de 2009 a 2013, a produtividade média de colmos no Centro-Oeste foi de 77 toneladas por hectare e de 82 toneladas por hectare em São Paulo (Castelões, 2015).

Como a adubação da cana-soca é realizada em superfície, semelhante ao sistema de plantio direto, aumenta a necessidade de se conhecer a mobilidade vertical de cada nutriente no solo, uma vez que, nesse sistema, os fertilizantes são aplicados nos centímetros superficiais, sem incorporação posterior (Werle et al., 2008; Neves et al., 2009). Nos últimos anos, tem aumentado a quantidade de trabalhos que estudam a

movimentação do íon potássio no perfil do solo. Ucker et al. (2016) avaliaram a movimentação vertical do íon potássio em NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS sob cultivo de cana-de-açúcar. Os autores constataram rápida movimentação do K^+ pelo perfil do solo, e que áreas com maior conteúdo de matéria orgânica e maior pH possuem maior capacidade de retenção desse íon nas camadas superficiais do perfil. Neves et al. (2009) estudaram a mobilidade de potássio em solos com quantidades variáveis de argila submetidos a doses crescentes de cloreto de potássio, e concluíram que a adubação potássica aumenta as quantidades percoladas de K^+ e não teve correlação com os atributos de solos estudados.

De acordo com Gustafson et al. (2006), os cálculos de fluxos e balanço de nutrientes em sistemas de produção agrícola fornecem informações básicas para a avaliação da sua sustentabilidade ao longo do tempo. Em que a diferença entre a quantidade do nutriente aplicada na adubação e a quantidade exportada pela colheita indica o grau de aumento ou de redução das reservas do nutriente no solo (Steiner, 2014). A dinâmica do K no solo e sua ciclagem dependem também do sistema de produção adotado (Ferreira et al., 2011). Quando as entradas de um nutriente são menores do que as saídas, a condição é de insustentabilidade (Oenema et al., 2003), resultando em diminuição da fertilidade, o que afeta a produtividade e a rentabilidade do sistema, levando ao esgotamento da reserva do solo (Rosolem et al., 1993). Já a aplicação excessiva de fertilizante pode ocasionar baixa eficiência de uso, baixo desempenho econômico (Baligar et al., 2001) e aumento das perdas por lixiviação (Rosolem et al., 2006). A literatura aponta perdas por lixiviação de K na ordem de 50-70% (Auoada et al., 2008; Wu & Liu, 2008), quando aplicados de forma inadequada aos solos (Sousa & Rein, 2009).

Embora seja um assunto relevante, tanto do ponto de vista agrícola como ambiental, principalmente em função da expansão da cana-de-açúcar na região do Cerrado Goiano, estudos que avaliem em detalhe a dinâmica do potássio no sistema solo-planta na produção da cana-de-açúcar em condições de Cerrado são escassos. Como a cultura da cana-de-açúcar se tornou a principal na produção de energia limpa e renovável é importante a realização de pesquisas quanto a esse balanço nutricional, de forma a identificar soluções de manejo que possibilitem melhorias da produtividade. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação potássica na dinâmica de potássio no sistema solo-planta e seus impactos na produtividade, parâmetros fisiológicos e morfológicos da cana-de-açúcar em condições edafoclimáticas de Cerrado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A temperatura é um dos fatores mais importantes na produção da cana-de-açúcar, havendo um grande número de publicações sugerindo limites térmicos para a cultura (Marin et al., 2009). No caso da cana-de-açúcar, a temperatura do ar ótima para a brotação das gemas é de 32 a 38°C e para um ótimo desenvolvimento o ambiente deve ter temperaturas médias diárias entre 22 e 30°C. Temperaturas abaixo de 20°C, a taxa de crescimento diminui significativamente, devido à diminuição na taxa de alongamento dos colmos. Geralmente, temperaturas altas são bem toleráveis pela cultura, desde que haja irrigação ou umidade no solo (Monteiro, 2012).

De acordo com Magalhães (1987), de modo geral, pode-se admitir que a cana-de-açúcar apresente queda expressiva na taxa de crescimento sempre que a temperatura do ar cai abaixo de 20°C e, contrariamente, ocorre máxima taxa de crescimento quando submetida a temperaturas entre 30°C e 34°C, passando a ocorrer estresse térmico sob condições de temperatura acima dos 35°C, com crescimento praticamente nulo, acima dos 38°C. Considera-se, também, que o crescimento da cana-de-açúcar estaciona ou torna-se praticamente nulo quando a temperatura do ar é inferior a valores entre 16°C e 18°C (Magalhães, 1987).

Sob condições de 23°C a 32°C, observa-se elevação da atividade fotossintética, caindo a partir deste ponto. Por outro lado, entre 36°C e 38°C, a respiração da espécie é máxima, em que, a partir de 33°C, o ganho de matéria seca tende a baixar até um ponto em que se torna praticamente nulo, com temperaturas próximas de 38°C (Marin et al., 2009). A cana-de-açúcar se enquadra entre as gramíneas de maior eficiência fotossintética, por apresentar metabolismo C4, assim como o milho e o sorgo, o que propicia uma taxa de crescimento e eficiência do uso da água duas a três vezes maiores que as plantas de metabolismo C3, sendo bem adaptada aos climas tropical e subtropical (Casagrande, 1996; Simões et al., 2015). As plantas com esse metabolismo apresentam maior eficiência

fotossintética, devido a abundância de cloroplastos dispostos em duas camadas na folha (Dalri & Cruz, 2002).

A água é essencial para a produção vegetal, pois tanto a falta quanto o excesso prejudicam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia conforme os diferentes estádios fenológicos da cultura (Gava et al., 2011). Segundo Thompson (1976), durante todo o ciclo da cultura, pode ocorrer déficit hídrico, porém, o efeito sobre a produtividade é variável de acordo com o estágio fenológico, a época do ciclo e, principalmente, a intensidade e duração do déficit hídrico. Para Monteiro (2012), a água é o principal fator limitante para a obtenção de elevadas produtividades da cana-de-açúcar.

As necessidades hídricas da cana-de-açúcar, dependendo do clima, vão de 1500 a 2500 mm distribuídos uniformemente ao longo do ciclo vegetativo da cultura. Entretanto, nas principais regiões produtoras do Brasil, a precipitação anual média não atinge esses níveis pluviométricos, sendo mais importante, portanto, a distribuição da precipitação ao longo do ano para que haja disponibilidade hídrica principalmente nos estádios fenológicos de crescimento (Monteiro, 2012). Isso ocorre uma vez que a cultura apresenta consumo hídrico diferenciado entre os estádios de desenvolvimento (Marin et al., 2009). Vários autores têm procurado determinar as necessidades hídricas da cultura, mas os resultados diferem significativamente, em razão dos métodos de cálculo e as condições do experimento (Marin et al., 2009).

De acordo com Marin & Nassif (2013), apesar da boa regularidade e dos elevados volumes de chuva na maior parte do Brasil durante o verão, o longo período de estiagem é limitador do acúmulo de fitomassa por causa da baixa umidade do solo durante praticamente todo o outono e o inverno. Tal limitação hídrica acarreta o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, queda nas taxas de fotossíntese.

2.2 RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR À ADUBAÇÃO POTÁSSICA

O incremento na produtividade agrícola, decorrente da adição de fertilizantes potássicos ao solo, varia principalmente com a quantidade de K disponível no solo, com as espécies vegetais, com o teor de água e com o nível geral da fertilidade do solo (Steiner, 2014). Segundo Uchôa et al. (2009), a deficiência de potássio na planta afeta a produtividade do canavial e pode diminuir a qualidade da matéria prima, influenciando nas

características agroindustriais. Dentre os nutrientes usados na adubação da cana-de-açúcar, o K se destaca por ser o nutriente exportado em maior quantidade por essa cultura, além de influenciar sua qualidade (Reis Junior, 2001). De acordo com Caione et al. (2011) a cana-de-açúcar responde de maneira intensiva a aplicação de K. Em que, baixos níveis de potássio no solo contribuem para reduzir a longevidade do canavial (Schultz et al., 2010), sendo considerado um elemento essencial na recuperação da produtividade das soqueiras de cana-de-açúcar (Weber et al., 2002).

A adequada nutrição potássica para a cultura da cana-de-açúcar é fundamental para a melhoria da qualidade industrial dos colmos produzidos. Isto porque o nutriente está relacionado com a ativação enzimática de muitas rotas metabólicas; translocação e armazenamento de assimilados; manutenção da água (Lindhauer, 1985); síntese e translocação de proteínas (Korndörfer & Oliveira, 2005). Além disto, baixos níveis de potássio no solo contribuem para reduzir a longevidade do canavial (Schultz et al., 2010), sendo considerado um elemento essencial na recuperação da produtividade das soqueiras de cana-de-açúcar (Weber et al., 2002).

Avaliando a produtividade de colmos e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar em função de doses e modos de aplicação de K, Otto et al. (2010) encontraram a máxima produtividade estimada para cana-planta com a aplicação de 130 kg ha⁻¹ de K₂O na forma parcelada e 150 kg ha⁻¹ de K₂O de uma única vez no plantio. Em relação aos atributos tecnológicos, as doses de K aplicadas unicamente no sulco de plantio exerceram efeito quadrático para pureza e açúcares redutores (AR). Uchôa et al. (2009), em estudo sobre a resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de K, verificaram que as variedades responderam de forma quadrática as doses de K para todas as variáveis estudadas, exceto o °Brix e o índice de maturação, sendo que a dose de máxima eficiência econômica variou de 94 a 165 kg ha⁻¹ de K₂O.

Almeida et al. (2015), avaliando o efeito da adubação potássica em soqueira de cana-de-açúcar cultivada sobre palha em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico e em um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico encontraram que as doses de K aumentaram quadraticamente a produção da cana-de-açúcar em ambos os solos, atingindo produções máximas de 113 e 106 t ha⁻¹ com doses de 117 e 123 kg ha⁻¹ de K₂O respectivamente para LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico e ARGISSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico. O aumento da produtividade foi da ordem de 75 e 22 t ha⁻¹ entre o tratamento controle e a dose que resultou na maior

produtividade estimada nos solos supracitados, respectivamente. Neste mesmo estudo, os autores encontraram efeito significativo das doses de potássio nos níveis de sólidos solúveis e para os níveis de açúcares redutores totais. Ainda observaram aumento quadrático nos açúcares redutores e pureza do caldo com a variedade RB855453 cultivada em ARGISSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico.

2.3 FUNÇÕES DO POTÁSSIO NOS ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DAS PLANTAS

O potássio se movimenta no solo, predominantemente, pelo fenômeno de difusão e sua absorção pelo vegetal pode ser afetada por vários fatores como a sua concentração no solo, umidade do solo, idade da planta, uma vez que, raiz jovem apresenta maior absorção. Após sua absorção, o K rapidamente é transportado para a parte aérea via xilema, onde apresenta alta redistribuição interna, isso se deve, em parte, ao fato de que cerca de 75% do potássio total da planta encontra-se na forma solúvel (K^+), ou seja, não está ligado a compostos orgânicos (Prado, 2008). Por não fazer parte de nenhum composto orgânico na planta, não tem função estrutural, sendo sua principal função na vida da planta a de ativador enzimático, mais de 60 enzimas, como as sintetases e as quinases, dependem do potássio para sua atividade normal (Prado, 2008).

Segundo Epstein (1975), o potássio atua em muitos processos fisiológicos no vegetal: ativa mais do que 60 sistemas enzimáticos; atua na fotossíntese como promotora de assimilados das folhas; favorece um alto estado de energia (necessária para a produção de ATP); mantém o turgor das células; regula a abertura e fechamento dos estômatos (Taiz & Zeiger, 2004); promove a absorção de água; regula a translocação de nutrientes na planta; favorece o transporte e armazenamento de carboidratos; incrementa a absorção do N e a síntese de proteínas; e participa na síntese de amido nas folhas (Meurer, 2006). Essas funções promovem o incremento no crescimento das raízes, aumento da resistência às secas e às baixas temperaturas, resistência a pragas e moléstias, resistência ao acamamento das plantas (IMAS, 1999).

Vários processos fisiológicos essenciais ao funcionamento da planta envolvem o acúmulo de íons para diminuir o potencial osmótico e aumentar a pressão de turgor (osmorregulação), o K apresenta importante papel nesse processo, atuando na extensão celular, movimento de estômatos, transporte no floema e na ascensão de água pelo xilema

devido à pressão radicular (Marenco & Lopes, 2013). Também apresenta papel relevante na manutenção do balanço de cargas no citoplasma, vacúolo, xilema e floema, participando da fotossíntese como contra-íon do efluxo de H^+ , através da membrana do tilacoide, no processo que leva à fotofosforilação. O K^+ atua ainda como íon acompanhante do NO_3^- no transporte de nitrato pelo xilema (Marenco & Lopes, 2013).

Plantas bem supridas em K^+ tem maior eficiência no uso da água, o que favorece as reações metabólicas e também a orientação das folhas, mantendo maior interceptação da luz. Por controlar a abertura e o fechamento dos estômatos também é de grande importância na taxa de fotossíntese, uma vez que, em plantas deficientes de K a abertura dos estômatos não ocorre regularmente, diminuindo a entrada de CO_2 . Assim, a aplicação de K pode contribuir na assimilação de CO_2 pelas folhas (Prado, 2008).

Por outro lado, plantas deficientes em potássio apresentam diminuição do seu metabolismo, com maior acumulação de carboidratos solúveis, redução do nível de amido (K ativa amido sintetase) e acúmulo de compostos (N-solúvel), ocorre ainda, prejuízos na síntese proteica, sendo provável que o K ative a redutase do nitrato e seja requerido também na síntese dessa enzima (Prado, 2008). Essa queda da síntese de proteína acarreta em um aumento do acúmulo de putrescina, composto nitrogenado tóxico às plantas, podendo levar à necrose das margens das folhas, sintoma comum em plantas deficientes em K (Prado, 2008).

2.4 BALANÇO DO POTÁSSIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA

Nos solos tropicais com predomínio de minerais de argila do tipo 1:1, a maior parte do K aplicado migra para o complexo de troca e uma pequena parte vai para a solução do solo (Steiner, 2014). Em solos onde existe um teor considerável de minerais do tipo 2:1, associado a valores elevados de pH, pode haver fixação de K nas entrecamadas desses minerais, no entanto, esse fenômeno é pouco comum nos solos brasileiros (Ernani et al., 2007). A dinâmica do K adicionado pelos fertilizantes nos solos brasileiros é, portanto, relativamente simples. A principal perda de K a partir do solo acontece por lixiviação (Steiner, 2014).

O manejo da adubação potássica é de grande importância em solos tropicais, tendo em vista que as reservas de K nesses solos, de modo geral, não são suficientes para suprir as quantidades extraídas pelas plantas ao longo dos anos. Esse manejo adequado é

importante porque a maioria das culturas apresenta elevada extração e exportação de K, associada ao alto potencial de perdas por lixiviação nesse nutriente (Steiner, 2014). De acordo com Rosolem (1997), o adequado manejo da adubação potássica, no que diz respeito às quantidades de fertilizante a serem ministradas, pode reduzir perdas, o que é importante do ponto de vista econômico e ambiental, porém, se a aplicação de K for subestimada, pode haver esgotamento das reservas de K do solo.

A capacidade do solo em disponibilizar potássio para que as plantas possam absorver, depende de alguns fatores como: material de origem (presença de minerais primários e secundários), aplicação de fertilizantes, CTC do solo, e ainda, da ciclagem de nutrientes pelas plantas (Werle et al., 2008). Com o advento da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, grande quantidade de resíduos vegetais são depositados sobre a superfície do solo (Souza et al., 2005). Essa palhada é importante fonte de potássio, podendo contribuir com cerca de 70 kg ha^{-1} de K_2O , possibilitando redução da adubação potássica.

A dose de fertilizante potássico adequada para cada cultura pode ser estimada pela quantidade exportada na colheita, assim como, pela lixiviação para as camadas mais profundas do solo, fora do alcance das raízes, e pela quantidade de K liberada das reservas minerais do solo. Portanto, dependerá da cultura, da CTC do solo e de sua força de adsorção de K e da mineralogia do solo, que influenciam na lixiviação desse nutriente (Steiner, 2014). Uma das formas de se avaliar a eficiência no uso dos fertilizantes é por meio da relação entre a quantidade de nutriente aplicada e a quantidade exportada pelas colheitas, extraindo-se o balanço do consumo de nutrientes de uma determinada área ou região (Cunha et al., 2010).

Ferreira et al. (2011), avaliando balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta, encontraram balanço positivo desse nutriente, na lavoura, em que as entradas do nutriente no sistema foram superiores as saídas. Para o balanço no solo, observou-se saldo negativo em áreas de pastejo e positivo em áreas sem pastejo. O maior balanço negativo (-104 kg ha^{-1}) ocorreu na área de maior intensidade de pastejo (altura do pasto igual a 10 cm).

Borkert et al. (1997) estudando resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em LATOSSOLO ROXO eutrófico, após dez anos de cultivo concluíram que os LATOSSOLOS ROXOS, de alta fertilidade, mesmos os que apresentam alta disponibilidade de K, não podem ser cultivados por mais de dois anos com soja sem aplicação de K, pois isso limitaria a produtividade. A adubação de manutenção com apenas

80 kg ha⁻¹ num período de cinco anos diminui as reservas do solo. De acordo com Gommers et al. (2005), altas doses de adubação potássica, também podem resultar em esgotamento das reservas do solo, pela absorção de luxo pelas plantas, bem como eleva as perdas por lixiviação (Rosolem et al., 2006).

2.5 MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Além das altas retiradas de nutrientes pelas colheitas, o solo pode ser empobrecido pelos processos de lixiviação e erosão. Neste sentido, a literatura aponta perdas por lixiviação de K na ordem de 50-70% (Auoada et al., 2008; Wu & Liu, 2008), quando aplicados de forma inadequada aos solos (Sousa & Rein, 2009). O baixo potencial de cargas, encontrado na grande parte dos solos da região dos Cerrados, associadas às fontes de K altamente solúveis, podem acarretar perdas elevadas por lixiviação (Silva et al., 2002). Ainda, a movimentação do K no perfil do solo depende, principalmente, do tipo de solo, textura (Neves et al., 2009), CTC, regime hídrico, da dose e solubilidade do fertilizante (Rosolem et al., 2006). Para compensar as extrações pelas colheitas e as perdas por lixiviação e erosão, é necessária a restituição dos nutrientes periodicamente, em solos agrícolas do Cerrado (Benites et al., 2010).

Para se ter um uso eficiente dos fertilizantes potássicos deve-se levar em consideração os fatores que aumentam seu efeito residual e o rendimento das culturas por unidade deste nutriente aplicado no solo. Dentre estes fatores, os mais importantes são as doses, as fontes e o modo de aplicação (Vilela et al., 2004). De acordo com Ernani et al. (2007) a quantidade de potássio a ser aplicada, depende fundamentalmente, do teor de K no solo, da espécie vegetal a ser cultivada e da expectativa de rendimento a ser obtida. Assim sendo, a realização de adubações potássicas eficientes deve-se iniciar pela amostragem de solo para análise química e pelo levantamento do histórico da área a ser adubada (Vilela et al., 2004).

Segundo Flores et al. (2016) atualmente, para solos da região de Cerrado, tem-se adotado as recomendações propostas por Vilela et al. (2004), em que, a recomendação é dividida em dois sistemas: a adubação corretiva total, que consiste em aplicar doses de K para corrigir a deficiência, seguida de aplicações anuais para repor o que é extraído pelas culturas. A adubação corretiva gradual, anualmente são aplicadas doses de K pouco acima

da necessidade da cultura para que, ao longo do tempo, a necessidade de restituir o K através da adubação mineral seja reduzida gradualmente.

Os fertilizantes potássicos podem ser adicionados ao solo em linha ou a lanço, uma vez que este nutriente possui boa mobilidade no solo e se liga aos compostos sólidos. Desta forma o método de adição dos fertilizantes potássicos (a lanço, incorporado ou localizado) normalmente não interfere na absorção do nutriente pelas plantas (Mielniczuk, 2005). De acordo com Altmann (2012) a aplicação de potássio a lanço é mais vantajosa pela melhor exploração dos sítios na capacidade de troca de cátions no solo (CTC). Em solos arenosos é imprescindível a aplicação a lanço, pois a concentração do adubo na linha da cultura favorece a lixiviação deste nutriente.

2.6 DINÂMICA DE POTÁSSIO NO SOLO

O comportamento do potássio no solo é bastante simples, soma-se a isso o fato de que a adubação potássica também não apresenta maiores complicações uma vez que existe praticamente um único fertilizante potássico de maior importância, o cloreto de potássio (Furtine Neto et al., 2001). No solo o potássio apresenta-se como íon monovalente (K^+) numa dinâmica bastante simples.

A maneira com que o K se liga aos componentes sólidos do solo, assim como a energia dessas ligações, dá origem às suas várias formas no solo. Cada uma dessas formas mantém um equilíbrio específico com a solução do solo, afetando a disponibilidade de K às plantas com diferentes magnitudes (Ernani et al., 2007). Dessa maneira, as formas de K do solo podem ser classificadas de acordo com a dificuldade com que as plantas têm em acessá-las, como o K prontamente disponível (K da solução + K trocável), K moderadamente disponível (na forma não-trocável) e o K lentamente disponível (representado pelo K estrutural) (Steiner, 2014) (Figura 1). O somatório de todas essas formas de K em um determinado solo constitui o potássio total do solo (Ernani et al., 2007).

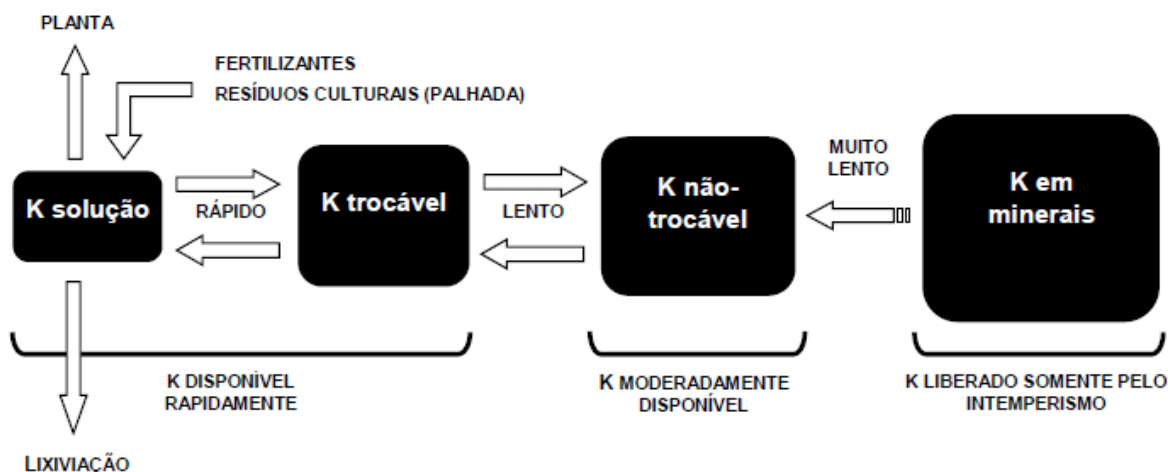


Figura 1. Representação esquemática da dinâmica do potássio no sistema solo-planta.
Fonte: (Adaptado Mielniczuk, 2005).

O K trocável corresponde a fração do K que se encontra ligado às cargas negativas na superfície das frações orgânicas e inorgânicas (minerais de argila silicatadas, óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de Fe e Al) do solo. É a fonte de maior interesse para a nutrição vegetal, visto que restitui rapidamente o K retirado da solução do solo pelas plantas ou perdido por lixiviação, representando a reserva imediata de K para as plantas (Ernani et al., 2007). A solução do solo é a fonte imediata de potássio para as plantas, e esta representa uma pequena fração do potássio trocável. De acordo com Furtine Neto et al. (2001), a quantidade de potássio presente na solução do solo, muitas vezes, é insuficiente para atender as exigências da cultura por mais de um dia de cultivo. Principalmente considerando a grande exigência por este nutriente, o potássio da solução do solo deve ser continuamente ressuprido pelo potássio da fase sólida.

As formas de K ligadas à fase sólida do solo estão em equilíbrio com os teores desse nutriente na solução. Quando o nutriente é retirado da solução pela absorção por uma raiz, por exemplo, o equilíbrio é rompido e uma fração ligada à fase sólida é liberada para manter o mesmo (Flores et al., 2016). De acordo com Werle et al. (2008), todos os solos, em maior ou menor grau, apresentam K em formas não-trocáveis, ou não extraídas convencionalmente para avaliar a disponibilidade de K. Dependendo da concentração do K na solução do solo a passagem deste nutriente da forma não trocável para a forma trocável pode ser rápida, fazendo com que seja possível a ocorrência de perdas por lixiviação das formas inicialmente não disponíveis, devido à tendência natural de equilíbrio do solo (Rosolem et al., 2006).

De acordo com Ernani et al. (2007), o K do solo provém do intemperismo de minerais primários e secundários que contém este elemento, principalmente advindos do grupo das micas, dos feldspatos e dos feldspatóides. Os atributos químicos e mineralógicos do solo são fatores determinantes na dinâmica de K no solo. Minerais primários como: biotita, ortoclásio, feldspatos e muscovita são grandes reservas de K no solo (K estrutural) (Meurer et al., 2018).

O potássio estrutural é aquele constituinte de minerais primários. Sua liberação para a solução do solo ocorre através do intemperismo destes minerais, caracterizando um processo relativamente lento, e corresponde a principal fonte de potássio para as plantas sob condições naturais (Furtine Neto et al., 2001). Ainda de acordo com Furtine Neto et al. (2001), o K interage com outros cátions normalmente presentes na solução do solo, tais como NH_4^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , durante o processo de absorção, o que pode interferir em sua absorção. Em solos com predomínio de nitrogênio (N) na forma amoniacal na solução, a absorção de K pode ser reduzida em cerca de 50%. Em solos mal aerados, o excesso de Fe^{2+} na solução pode inibir a absorção de K^+ e causar toxidade de ferro. Por outro lado o aumento na disponibilidade de potássio reduz a absorção de ferro e, conseqüentemente, a ocorrência desta desordem fisiológica. Em solos ácidos e salinos, ocorre ainda interação com o Al^{3+} e com o Na^+ , respectivamente, prejudicando a absorção de potássio.

Em relação ao K da matéria orgânica, diferentemente de outros nutrientes, o teor de K nesse compartimento é extremamente pequeno, pois se restringe ao K na fração orgânica viva, sendo lavado do material orgânico logo após a morte das células (Ernani et al., 2007).

Segundo Castilhos & Meurer (2002), tem sido constatado, em experimentos de curta e de longa duração, tanto em campo como em vaso, que o K trocável tende a diminuir até um nível mínimo, que é variável com o tipo de solo, e que, concomitantemente provoca diminuição do K-não trocável, passando o suprimento de K para as plantas a depender da liberação dessa última forma. Weler et al. (2008), avaliando a lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo, observaram maior quantidade de K lixiviado quanto maior foi o teor de K não-trocável, resultante do aumento da adubação potássica residual. Esse efeito foi observado tanto para solos de textura média como para solos argilosos. Os autores sugeriram duas explicações para tal ocorrido: a primeira é que parte considerável do adubo aplicado é convertido em formas inicialmente não trocáveis; e a segunda é que a passagem do K não-trocável para

formas trocáveis e sujeitas a lixiviação é rápida, alterando de forma intensa a dinâmica desse elemento no perfil do solo. Isso torna a reposição da reserva de K não-trocável muito difícil, pois o próprio K considerado não-trocável pode ser lixiviado (Weler et al., 2008). Rosolem et al. (2006) em trabalho sobre o potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada, constataram que o K oriundo da palha de milho e do fertilizante incrementou os teores de K não-trocável do solo até a camada de 8 cm, quando utilizado um solo esgotado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido durante um ciclo da cana-de-açúcar (junho de 2017 a maio de 2018) em uma área após o primeiro corte, trabalho-se com a primeira soqueira. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a IAC 91-1099, cujas principais características são: porte ereto, adaptada para colheita mecanizada, alta brotação de soqueira sob palha, fechamento das entre linhas, indicada para ambientes médios – favoráveis, perfil estável; ótimo desempenho no plantio de inverno, responde a aplicação de maturadores. Em ambientes médios/restritivos, normalmente a maturação ocorre na segunda quinzena de maio/junho (IAC, 2012). É uma variedade altamente produtiva. Apresenta produtividade similar à RB 86-7615, variedade mais cultivada no Brasil e padrão nos experimentos com cana-de-açúcar (Camargo & Vitti, 2014).

3.1 LOCAIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido após a brotação da primeira soqueira, em área produtiva de cana-de-açúcar pertencente a Usina Goiasa[®], situada no município de Bom Jesus de Goiás, Goiás, Brasil (18° 2' 39,55" S; 49° 30' 28,5" W; 619 m altitude). Segundo Köppen & Geiger, o clima da região é do tipo Aw (Megatértmico) ou tropical de savana, com invernos secos e verões chuvosos. A temperatura e precipitação médias anuais são de 23,9°C e 1.408 mm, respectivamente, com precipitação distribuída de outubro a abril (CLIMATE-DATA, 2018).

Os dados climáticos mensais, de temperatura média e precipitação pluvial, durante o período de condução dos experimentos (junho de 2017 a maio de 2018), na área experimental, são mostrados na Figura 2.

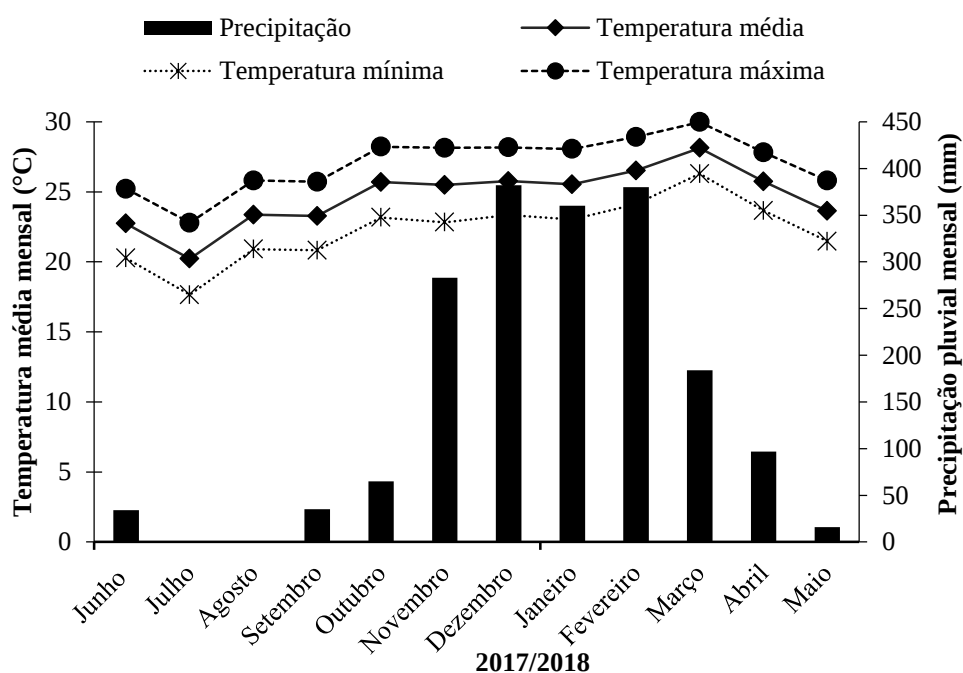


Figura 2. Precipitação pluvial e temperatura média mensal, durante o período de junho de 2017 a maio de 2018, no Setor Alvorada, área cedida pela Usina Goiasa para condução do experimento, em Bom Jesus de Goiás-GO.

O solo da área de estudo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Embrapa, 2013), de textura argilosa (argila: 440 g kg⁻¹; silte: 130 g kg⁻¹; areia: 430 g kg⁻¹). Para caracterização química do perfil do solo, antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m. Os resultados das análises químicas, realizadas segundo Silva, (2009), são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área em estudo em quatro profundidades, antes da implantação do experimento.

Profundidade	pH	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V
m	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			%
0,0-0,2	5,5	26,8	13,0	0,20	4,3	1,7	4,1	6,2	10,3	60,2
0,2-0,4	5,1	12,1	10,2	0,11	2,7	1,1	4,2	3,9	8,1	48,2
0,4-0,6	4,8	12,1	2,6	0,10	2,4	1,1	4,3	3,6	7,9	45,6
0,6-0,8	4,7	10,7	2,3	0,05	1,2	0,6	4,0	1,8	5,85	31,6

Para melhor caracterização da área de estudo foi avaliada a resistência do solo à penetração (Figura 3), com uso do penetrômetro de impacto. Este equipamento tem como

princípio de funcionamento a penetração de uma haste ao longo do perfil do solo mediante uma força que provém do impacto de um êmbulo que compõem o equipamento, o qual é derrubado de uma altura constante (Vogel et al., 2017). Para obtenção da resistência mecânica a penetração, aplicou-se a seguinte equação [Equação 1], conforme metodologia proposta por Stolf (1991):

$$RMP = \left(5,60 + 6,89 \times \left(\left(\frac{N}{D-A} \right) \times 10 \right) \times 0,0981 \right) \quad [1]$$

Em que: RMP a resistência mecânica do solo à penetração (MPa); N o número de impactos efetuados para a obtenção da leitura; e A e D = leituras anteriores (A) e posteriores (D) da realização dos impactos (cm).

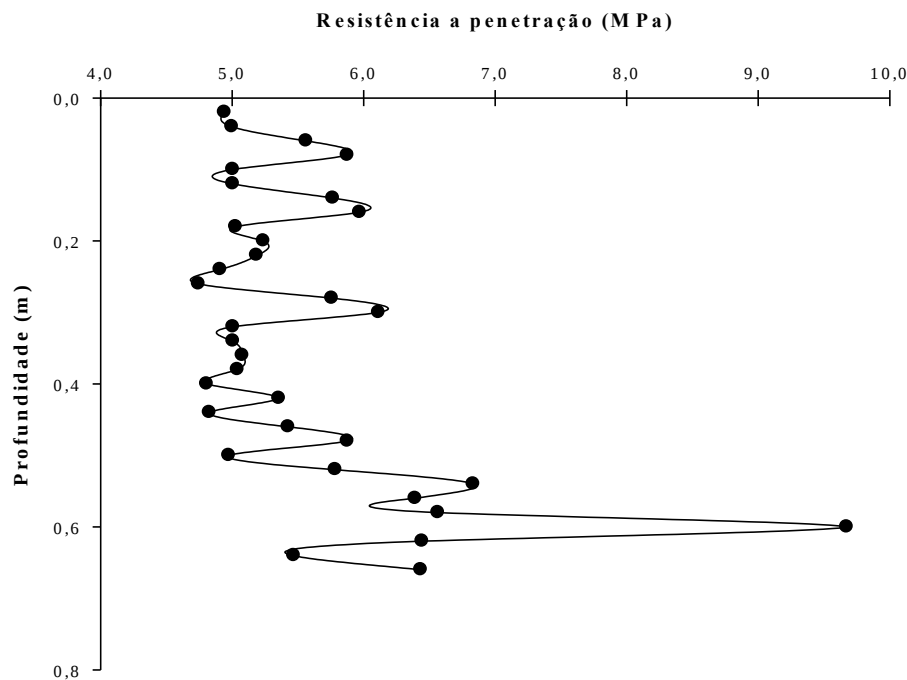


Figura 3. Resistência do solo à penetração na amostragem realizada em junho de 2017 na camada de 0,0 a 0,70 m, cuja umidade do solo no momento da avaliação foi de 27,51%, 24,76%, 24,83% e 18,98 %, nas profundidades de 0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, respectivamente.

No mesmo dia em que foi realizada a medição da resistência mecânica à penetração, foram retiradas amostras de solo para a determinação do seu teor de água, correspondendo, respectivamente, às camadas de solo de 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,40-0,6 e 0,6-

0,8 m de profundidade. De acordo com Silveira et al. (2010), os teores de água determinados representam o valor médio de cada camada considerada. Esse procedimento foi realizado, uma vez que, a umidade altera a coesão entre as partículas do solo, assim, quando o solo está seco ou apresentando baixo conteúdo de água, suas partículas apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas por qualquer força externa. À medida que aumenta a umidade reduz-se a resistência do solo a penetração.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Os tratamentos foram compostos de cinco doses de K_2O : 0 (controle); 50; 100; 150 e 200 kg de K_2O ha^{-1} , aplicados na forma de cloreto de potássio (KCl). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais. Cada unidade experimental (parcela) foi constituída por cinco linhas de cultivo contendo dez metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 1,5 m ($75\ m^2$). Consideraram-se como área útil as três linhas centrais de cada parcela, excluindo-se 0,5 m de comprimento em cada extremidade das linhas (área útil de $40,5\ m^2$).

A instalação do experimento ocorreu aos 30 dias após o corte da cana-de-açúcar, em junho/2017. As doses de potássio foram aplicadas manualmente, ao lado das linhas de cana, sem incorporação, conforme indicações de Spironello et al. (1997). De modo semelhante, juntamente com a adubação potássica, foram aplicados, via fertilizante mineral, 100 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de nitrato de amônio (NH_4NO_3 – 33% N) e MAP (fosfato monoamônico – 48% P_2O_5), respectivamente.

Para geração, calibração e validação do balanço de K no sistema solo-planta foi necessário obter informações a cerca de: i) características das plantas: respostas de crescimento (aumento de matéria seca) e desenvolvimento (surgimento de novos órgãos), de modo a identificar os diferentes estádios fenológicos da cultura; ii) variáveis climáticas: responsáveis por acelerar ou diminuir os processos metabólicos de evapotranspiração e fotossintéticos; iii) análises tecnológicas; iv) balanço de K do solo: avaliar a quantidade que entrou no sistema, o quanto que foi absorvido pela planta, quanto ficou no solo, quanto foi perdido por lixiviação e quanto foi ciclado pelos resíduos vegetais depositados no solo após os procedimentos da colheita. Para isto, foram realizadas as avaliações descritas a seguir:

3.3 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

As variáveis climáticas: temperatura (máxima, mínima e média diária), umidade relativa do ar e precipitação pluvial, foram obtidas da estação meteorológica automática localizada na Usina Goiasa no município de Bom Jesus de Goiás.

Para fins de monitoramento do teor de água no solo e da demanda hídrica evapotranspirativa, foi calculado o balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar, em escala diária, conforme o método de Thornthwaite & Mather (1955). Adotou-se capacidade de água disponível (CAD, mm) igual a 100 mm, valor fornecido pela Usina Goiasa.

A evapotranspiração potencial (ET_0 , mm dia⁻¹) foi estimada pelo método de Hargreaves & Samani (1985), equação 2:

$$ET_0 = \alpha \times Q_0 \times (T_{\max} - T_{\min})^{\beta} \times (T_{\text{med}} + 17,8) \times NDP \quad [2]$$

Em que α é um parâmetro empírico, sendo utilizado o seu valor original de 0,0023; β é um parâmetro empírico exponencial, sendo seu valor original de 0,5. Q_0 é a irradiância solar extraterrestre (mm dia⁻¹) e o NDP, é o número de dias no período, como o balanço hídrico climatológico foi calculado em escada diária, corresponde a um. A temperatura média foi obtida através da metodologia descrita por Allen et al. (1998), Equação (3):

$$T_{\text{med}} = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 \quad [3]$$

O coeficiente de cultura (K_c) adotado para o cálculo do balanço hídrico da cultura, para cada estágio do desenvolvimento, encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de cultura (k_c) para cana planta e cana soca em diferentes períodos de desenvolvimento.

Cana-planta		Cana-soca	
Dias	Kc	Dias	Kc
1-61	0,40	1-61	0,40
62-153	0,75	62-153	0,75
154-244	1,10	154-244	1,10
245-334	1,25	245-334	1,25
335-485	0,70	335-365	0,70

Fonte: Doorenbos & Kassam (1994).

3.4 LIXIVIAÇÃO DE POTÁSSIO

Para a avaliação da lixiviação do potássio, em dezembro de 2017, 180 dias após a brotação (DAB) e maio de 2018 (330 DAB, momento da colheita), amostras de solos foram coletadas nas camadas de 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m de profundidade. As amostras de solo foram coletadas com trado tipo Holandês em dois pontos por parcela, formando uma amostra composta representativa de cada tratamento. Essas amostras foram secas ao ar, passadas em peneira de 2,0 mm e submetidas à determinação dos teores de K trocável. O teor de K trocável no solo foi determinado pelo método Mehlich-1. O procedimento analítico está detalhado em Silva (2009).

3.5 VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE K PELA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Em cada parcela experimental foi avaliada a taxa de decomposição e liberação de K dos resíduos vegetais, aos 0, 60, 120, 180, 240 e 300 dias após a brotação da primeira soqueira. Foram distribuídas sete bolsas de decomposição (*litter bags*) por parcela, confeccionadas a partir de material plástico (náilon com malha de 10 mm de abertura), apresentando dimensões de 0,03 m² (0,20 × 0,15 m). Essa distribuição foi adotada para coletar uma bolsa por parcela em cada época de amostragem, a partir de 60 dias após o corte da cana-de-açúcar, uma vez que o tempo zero foi coletado no ato da instalação do experimento. Os teores de K foram avaliados segundo Silva (2009).

Para determinar a quantidade de palha a ser inserida em cada *litter bags*, foi realizado o levantamento da quantidade de palha por hectare presente na área, procedimento realizado utilizando um quadrado metálico com área conhecida de 0,25 m² que foi disposto alternadamente na área experimental, e por meio da proporção com a área da bolsa determinou-se a quantidade de material vegetal a ser inserido na mesma. Ainda, na data de implantação do experimento foi coletado amostra da palhada para análise do teor de umidade, para posterior correção.

A cada período de amostragem, os resíduos contidos nas bolsas foram pesados e secos em estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até atingir massa constante, para determinação da fitomassa seca remanescente. Posteriormente, os resíduos foram moídos em moinho tipo Willey para em sequência determinar os teores de K. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise Foliar e de Fertilizantes do Departamento de Solos da

UFG. Os teores de K foram avaliados segundo Silva (2009). Ressalta-se que as avaliações foram realizadas em cada bolsa individual.

Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais e a liberação dos nutrientes, foi utilizado o modelo matemático exponencial descrito por Stanford & Smith (1972), do tipo $y = y_0 e^{-kt}$, em que y é a quantidade de matéria seca ou nutriente remanescente após um período de tempo t , em dias; y_0 , a quantidade inicial de matéria seca ou de nutriente; e k , a constante de decomposição do resíduo. Com o valor de k , foi calculado o tempo de meia-vida ($t_{1/2} = 0,693/k$) (Paul & Clark, 1989), que representa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberado.

3.6 BALANÇO DE K NO SOLO

Para o cálculo do balanço de K no sistema, avaliaram-se duas situações. A primeira, como sendo um “balanço no solo”, considerou-se o K inicial, da camada de 0 a 0,8 m, mais o K contido na palhada da cana-de-açúcar (junho de 2017), bem como o K final na mesma camada de solo mais o K final presente na palhada da safra anterior bem como o K acumulado no ponteiro no momento da colheita (maio de 2018). Os cálculos foram realizados conforme equação 4 adaptada de Ferreira et al. (2011):

$$(\text{Balanço no solo}) = (K_{\text{final}} + K_{\text{palha final}} + K_{\text{ponteiro}}) - (K_i + K_{\text{palhada inicial}}) \quad [4]$$

Sendo K_i = K no solo antes da implantação do experimento; K_{final} = K extraível por Mehlich 1 após cada cultivo, sendo considerado até 0,80 m de profundidade; $K_{\text{palha inicial}}$ = K inicialmente presente na palhada da cana-de-açúcar; $K_{\text{palha final}}$ = K remanescente na palhada ao final do experimento; e K_{Ponteiro} = K acumulado no ponteiro da cana-de-açúcar no momento da colheita (maio/2018).

Na segunda situação, denominada de “balanço na lavoura”, em que foram contabilizados como entrada o K advindo da adubação e, como saída, o K exportado por meio da colheita dos colmos, conforme equação 5.

$$\text{Balanço na lavoura} = (K_{\text{aplicado}} - K_{\text{exportado}}) \quad [5]$$

Sendo $K_{\text{aplicado}} = K$ aplicado em cada safra do cultivo da cana; $K_{\text{exportado}} = K$ absorvido pelas culturas em cada cultivo. Ao final do estudo foi feito um balanço total de K, levando em considerações todas essas variáveis durante o período de cultivo.

O balanço de K no sistema solo-planta ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi estimado, ao fim do ciclo da cana-de-açúcar, levando em consideração a quantidade do nutriente adicionada na adubação ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), a quantidade liberada pela palha da cultura ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), a quantidade exportada da lavoura através dos colmos colhidos ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), a quantidade que retornou via ponteiro após a colheita, e a alteração na quantidade de K trocável (ΔK_{solo}) no perfil do solo até 0,8 m de profundidade ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

3.7 AVALIAÇÕES DE DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO

3.7.1 Altura de plantas, diâmetro do colmo e número de perfilhos

A altura do colmo foi mensurada com o auxílio de uma trena, compreendendo uma medida de comprimento do colmo desde a sua inserção na superfície do solo até o colarinho da folha +1, conforme metodologia realizado por Oliveira et al. (2010a). As medições foram realizadas em sete plantas por parcela, fazendo-se a média por parcela. Tais medições ocorreram aos 180, 240 e 300 DAB.

Assim como para a altura do colmo, as avaliações do diâmetro do colmo ocorreram aos 180, 240 e 300 DAB. As medições foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital, obtendo-se medidas no terço médio de cada colmo (Oliveira et al. 2010a), em sete plantas por parcela, resultando em um diâmetro médio por parcela em mm. As aferições foram realizadas nas mesmas plantas que mediu-se a altura do colmo.

Para a contagem do número de perfilhos utilizou-se uma régua de madeira de um metro de comprimento, sendo que a contagem ocorreu em três pontos aleatórios na área útil de cada parcela, os resultados foram expressos em número de perfilhos por metro linear. As avaliações ocorreram aos 60, 120, 180, 240 e 300 DAB.

3.7.2 Área foliar

A área foliar por perfilho (AF) foi determinada por meio da contagem do número de folhas verdes, folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1 (primeira folha com bainha visível, a partir do ápice para a

base), e pelas medições nas folhas +3 (terceira folha com bainha visível, a partir do ápice para a base), sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999) (Equação 6).

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2) \quad [6]$$

Em que: C é o comprimento da folha +3, L a largura da folha +3, 0,75 o fator de correção para área foliar da cultura, N o número de folhas abertas, com pelo menos 20% de área verde e 2 o fator de ponderação para as folhas que ainda não estão totalmente expandidas. As avaliações foram realizadas em sete plantas por parcela aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias após a brotação da soqueira de cana-de-açúcar (DAB).

3.7.3 Índice Relativo de Clorofila – IRC

Durante as avaliações biométricas, também foram realizadas a avaliação do índice relativo de clorofila (IRC), aos 60, 120, 180, 240 e 300 DAB, usando um clorofilômetro FALKER[®], modelo ClorofiLOG CFL1030. Este equipamento mede o teor de clorofila nas folhas das plantas de forma óptica. A folha é inserida junto aos sensores ópticos dos equipamentos e a leitura é instantânea. A folha utilizada para a leitura foi a folha +1 (primeira folha com a bainha completamente visível), realizando as medições em dez plantas por parcela.

3.7.4 Trocas gasosas

Para as medições de trocas gasosas foram selecionadas folhas totalmente expandidas com bom aspecto fitossanitário, sendo realizadas três avaliações por planta, por parcela. As variáveis analisadas foram: taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (G), transpiração (E) e concentração interna de CO₂ (Ci). As medidas de trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a* foram realizadas usando um sistema analisador de fotossíntese - IRGA- Infrared Gas Analyser com fluorômetro acoplado, modelo iFL – Integrated Fluorometer and Gas Exchange System), com câmara foliar de 6,25 cm².

A fluorescência da clorofila *a* (F) foi determinada aplicando um pulso de luz saturante de 2.000 µmol m⁻² s⁻¹ com duração de 1 segundo. Os dados de fluorescência

foram utilizados para calcular ΦFSII (rendimento quântico máximo do FSII) conforme equação 7 (Maxwell & Johnson, 2000).

$$\Phi\text{FSII} = (F_m' - F_s) / F_m' \quad [7]$$

Em que: F_s , indica a fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (folha iluminada) e F_m' , a fluorescência máxima da folha em ambiente iluminado.

Para determinação do pulso de luz saturante ($2.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), foi construída, previamente, uma curva fotossintética de resposta da planta à luz (A – RFA), em condições de $[\text{CO}_2]$ ambiente ($\sim 491 \mu\text{mol mol}^{-1}$). Os valores de fotossíntese (A) foram registrados em pulsos de luz saturantes de 700 a $2.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com incrementos de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4). A partir da curva gerada determinou-se a intensidade luminosa que resultou em maior taxa fotossintética pela cana-de-açúcar.

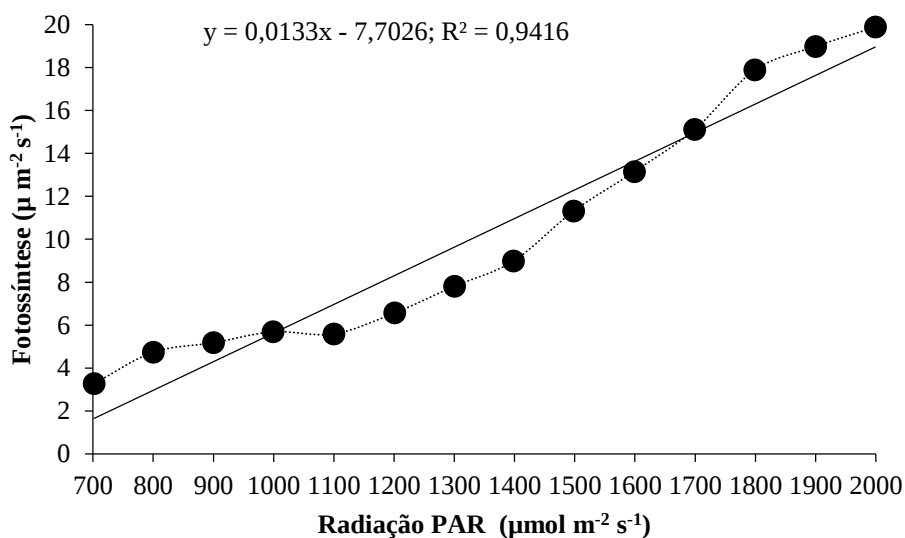


Figura 4. Curva fotossintética de resposta da planta à luz, em condições de $[\text{CO}_2]$ ambiente ($\sim 491 \mu\text{mol mol}^{-1}$).

3.7.5 Diagnose Foliar

Durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar, aos 60, 120, 180, 240 e 300 DAB, foram efetuadas amostragens do tecido foliar para avaliar os teores de K. Coletou-se a folha +1 (primeira folha com bainha visível, a partir do ápice para a base), num total de

10 folhas por parcela, utilizando somente o terço médio da folha, descartando-se a nervura central, conforme proposto por Raij et al. (2001).

As amostras de tecido foliar foram lavadas, secas em estufa de circulação forçada de ar, a 70°C, por 72 h e moídas em moinho tipo Willey. A determinação do teor de K foi feita no Laboratório de Análise Foliar e de Fertilizantes do Departamento de Solos da UFG conforme metodologia de Silva (2009).

3.7.6 Produtividade de colmos

A colheita da cana-de-açúcar foi realizada aos 330 DAB para avaliação da produção de colmos e a qualidade tecnológica da cultura. Para isso, foi considerada a área útil de cada parcela, a qual após o corte foi separado os colmos das folhas, sendo pesado posteriormente para determinação da fitomassa fresca de cada compartimento avaliado. Em seguida, a produtividade média de colmos de cada parcela experimental foi estimada em toneladas de colmos por hectare.

A colheita das parcelas experimentais foi realizada de forma manual e a produtividade foi expressa primeiramente em kg parcela⁻¹, sendo extrapolada para t ha⁻¹.

3.7.7 Fitomassa seca da parte aérea e exportação de K pela cana-de-açúcar

A parte aérea foi separada em colmo e folhas, de modo a obter as medidas de fitomassa seca de cada parte. Ainda na colheita, foram coletadas subamostras de ≈400 g de material fresco das folhas e colmos, separadamente, por parcela, para a determinação da massa seca e do teor de potássio total acumulado nesses compartimentos das plantas. Em seguida, as amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçada para a estabilização de sua massa a uma temperatura de 70 °C, até estabilização de sua massa (120 horas). Logo após, as amostras foram pesadas novamente para obtenção da fitomassa seca de folhas e colmos. Na sequência, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey (malha: 2 mm) para posterior determinação do teor de potássio nas folhas e colmos (Silva, 2009).

As exportações de K foram estimadas usando a produção de colmos e a concentração do nutriente nos colmos e ponteiros da cultura da cana-de-açúcar, de acordo com a Equação 8.

$$K_{\text{exportado}} = (\text{Prod} \times K_{\text{colmo}}) / 1000 \quad [8]$$

Em que: $K_{\text{Exportado}}$ é a quantidade de K exportado através da colheita dos colmos de cana-de-açúcar (em kg ha⁻¹); Prod. é a produção de colmos (em kg ha⁻¹) de cana-de-açúcar; e, K_{Colmo} é a concentração de K nos colmos (em g kg⁻¹) de cana-de-açúcar em cada um dos tratamentos.

O mesmo procedimento foi realizado para determinação do acúmulo de K nos ponteiros da cana-de-açúcar.

3.7.8 Análises tecnológicas

Durante a colheita da primeira soqueira da cana-de-açúcar, foi coletado um feixe de plantas contendo dez colmos de cana industrializáveis, ou seja, parte aérea da planta cana-de-açúcar, adequadamente despalhada e despontada e em condições ideais de sanidade para processamento industrial (Almeida, 2009), para a determinação de análises tecnológicas em laboratório (Bidoia & Bidoia, 2008). A determinação dos parâmetros químicos foi realizada a partir da metodologia do Consecana (2006). Foram avaliados a massa do bagaço úmido, teor de sólidos solúveis do caldo (°Brix em %), teor de sacarose (Pol do caldo em %) da cana-de-açúcar, pureza do caldo, fibra da cana-de-açúcar, umidade da cana e os Açúcares Totais Recuperáveis (ATR). Por meio da multiplicação de ATR pela produtividade real foi obtido o valor de ATR em tonelada por hectare. As análises tecnológicas foram realizadas na Usina Goiás.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F utilizando o software estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015). Para os dados significativos foi realizado o estudo da regressão polinomial. A escolha do modelo de regressão foi baseada na significância dos coeficientes de regressão e no maior valor do coeficiente de determinação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 BALANÇO HÍDRICO

A precipitação pluviométrica acumulada durante o ciclo de cultivo de cana-de-açúcar foi de 1.836 mm, com 87% do volume precipitado concentrado entre os meses de novembro a março (Figura 2). Boa parte desse volume de água não foi aproveitada pela cultura, uma vez que ultrapassaram a capacidade de campo, assim como mencionado por Benedetti (2014). A temperatura média anual foi de 24,7°C, sendo que as temperaturas máximas foram registradas de outubro a março, variando de 28,1 a 30°C. Segundo Brito (2006), para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar é necessário ter disponibilidade hídrica entre 1.200 e 1.800 mm, com temperatura média por volta de 30 a 34°C, sendo que abaixo de 25°C e acima de 38°C o crescimento é muito lento.

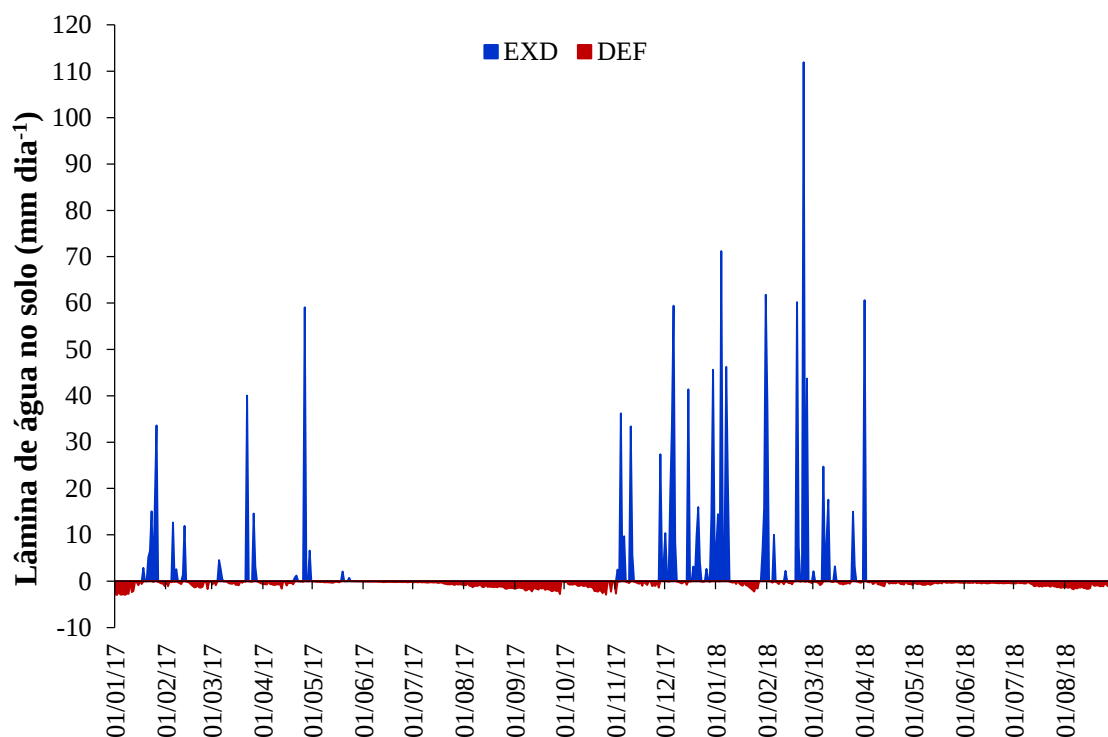


Figura 5. Extrato do balanço hídrico da cultura de cana-de-açúcar com excedente hídrico (EXC, mm) e deficiência hídrica (DEF, mm) para o município de Bom Jesus de Goiás, GO, correspondente ao período de janeiro de 2017 a agosto de 2018.

O balanço hídrico da cultura, no decorrer do ciclo de cana-soca, apresentou no estágio de brotação (30 DAB) e perfilhamento (30 a 120 DAB), valores de déficit hídrico iguais a 7,29 mm e 113,20 mm, respectivamente. Durante o período de perfilhamento da cultura não foi observado excedente hídrico. Já no estágio de crescimento (120 a 290 DAB), observou-se excedente hídrico de 1060,36 mm e lâmina de déficit igual a 62,85 mm. No período de maturação da cultura (290 a 330 DAB) foi registrado déficit hídrico de 20,94 mm (Figura 5).

A fase de crescimento intenso da cana-de-açúcar é considerada uma das mais críticas da cultura no que diz respeito ao déficit hídrico (Machado et al., 2009). Isto se dá uma vez que, cerca de 70 a 80% de toda fitomassa acumulada no decorrer do ciclo da cultura são produzidas nessa fase (Oliveira et al., 2010a), e de acordo com os dados apresentados na Figura 5, não houve déficit hídrico durante essa fase de crescimento intenso. De acordo com Caetano & Casaroli (2017), nas condições climáticas do Cerrado goiano, modelos agrometeorológicos estimam uma produtividade potencial entre 160-240 t ha⁻¹. Entretanto, quando esta produtividade máxima é penalizada em função do déficit hídrico na região, pode reduzir a estimativa da produtividade para aproximadamente 128 t ha⁻¹.

Em condições de estresse hídrico há redução nas taxas de crescimento, principalmente a área foliar, podendo ainda, ocorrer antecipação da senescência das folhas velhas (Smit & Singels, 2006). Nessa situação, são observados decréscimos nas variáveis fisiológicas das plantas, tais como condutância estomática, taxas transpiratórias e assimilação de CO₂ em plantas de cana-de-açúcar na formação do canavial (Machado et al., 2009).

Por outro lado, o déficit hídrico no final do ciclo da cultura, fase de maturação, é favorável à produção de açúcar, uma vez que essa condição faz com que a planta cesse seu crescimento e passe a armazenar os fotoassimilados no colmo, promovendo aumento do rendimento de sacarose (Inman-Bamber & Smith, 2005).

4.2 TEORES DE K NO SOLO

A aplicação de potássio no solo influenciou os teores desse nutriente nas camadas avaliadas (0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m de profundidade) aos 180 DAB (Figura 6) e 330 DAB (Figura 7), com exceção da profundidade de 0,4-0,6 m na primeira

avaliação. Essa época não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, apresentando o teor médio de K de $0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Este comportamento pode ser explicado por esse solo apresentar, nessa camada, maior grau de resistência à penetração, conforme apresentado na Figura 3. Nas demais camadas, houve ajustes significativos lineares e quadráticos em função da aplicação de K-fertilizante no solo nas avaliações realizadas aos 180 DAB conforme apresentado na Figura 6.

Na profundidade de 0-0,2 m observam-se ajustes quadráticos significativos em ambos os períodos avaliados. Já para a profundidade de 0,2-0,4 m, nas duas avaliações, e para a camada de 0,6-0,8 m aos 180 DAB, o ajuste significativo foi linear, em que, os teores de potássio no solo, nas profundidades e períodos mencionados, atingiram 0,27, 0,11 e $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, ambas com uso da maior dose aplicada.

Nota-se, portanto, um aumento aproximado de 160 e 30% nas camadas de 0,2-0,4 e 0,6-0,8 m aos 180 DAB, e 15% na camada de 0,2-0,4 m aos 360 DAB, respectivamente, com o uso da maior dose de K-fertilizante aplicada. Abaixo de 0,4 m, na avaliação final, apesar de os teores de K no solo terem sido significativamente influenciados pelos tratamentos, apresentando ajuste quadrático, o coeficiente de determinação do modelo foi baixo, mostrando que apenas 34% da variável dependente (teor de K no solo) consegue ser explicada pelo modelo estudado.

Essa maior concentração de potássio nas camadas mais superficiais do solo, em função da aplicação de doses crescentes desse macronutriente, era esperado, uma vez que, o solo do presente estudo, apresenta textura argilosa (440 g kg^{-1} de argila) e elevada CTC ($10,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 1), nessas condições as perdas de K por lixiviação são pequenas. Comportamento semelhante também foi encontrado por Flores et al. (2012), os quais observaram que a aplicação de doses crescentes de K_2O incrementaram, linearmente, os teores desse nutriente tanto na camada superficial (0-0,2 m), quanto subsuperficial (0,2-0,4 m). Na camada superficial esse incremento correspondeu a 157%, enquanto na camada subsuperficial, apenas 71%, fato também atribuído à textura do solo (argilosa) e a CTC média ($8,47 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

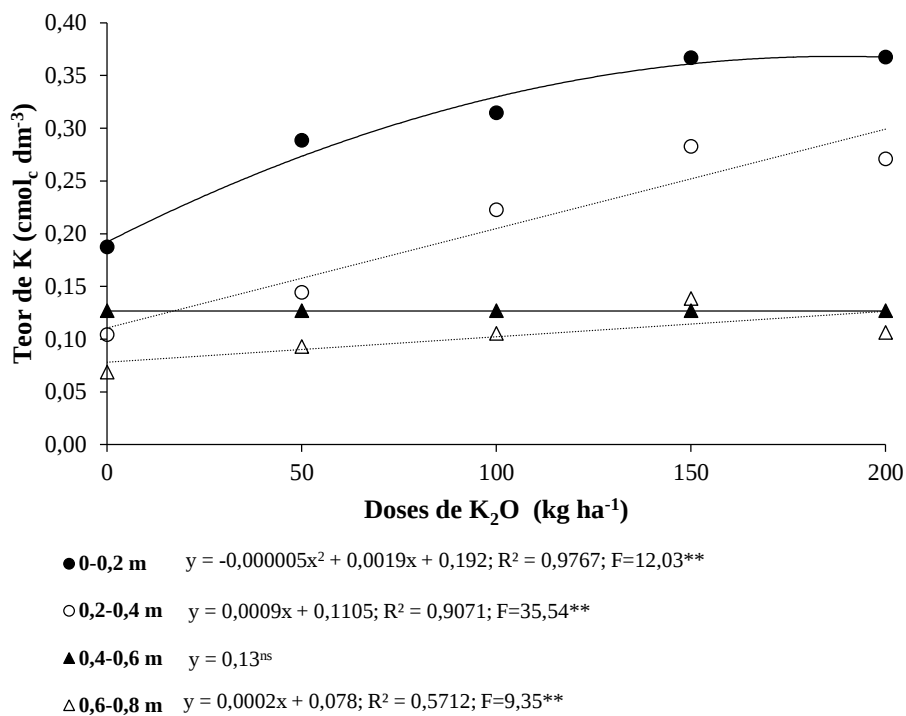


Figure 6. Teor de potássio (K) trocável no solo aos 180 DAB nas camadas 0-0,20 m, 0,20—0,40 m, 0,40-0,60 m e 0,60-0,80 m em função da aplicação de doses de adubação potássica no solo. ^{ns} e ^{**} – não-significativo à 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

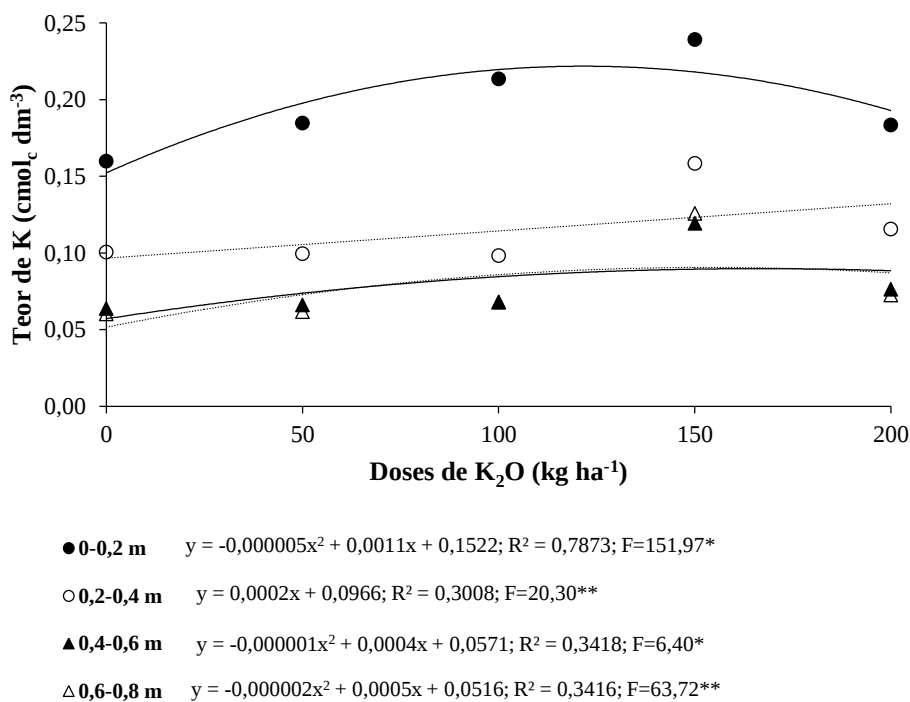


Figure 7. Teor de potássio (K) trocável no solo aos 330 DAB nas camadas 0-0,20 m, 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m e 0,60-0,80 m em função da aplicação de doses de adubação potássica no solo. * e ** – significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Apesar de as maiores alterações nas concentrações de K no solo terem ocorrido nas camadas mais superficiais, houve também acréscimo em profundidade. Esse resultado pode ser explicado pela influência da precipitação que ocorreu na região no intervalo de tempo entre a aplicação dos tratamentos e o momento da avaliação do potássio trocável do solo. Durante os meses de outubro a abril a precipitação pluviométrica acumulada foi de 1.654 mm, uma média de 236 mm mensais (Figura 2). Com essa precipitação ocorreu solubilização do potássio aplicado e o possível aprofundamento do íon no perfil do solo, principalmente com a aplicação das maiores doses.

No tocante à distribuição dos teores de K no perfil do solo (0-0,8 m), verificam-se menores teores do nutriente em profundidade, formando gradiente decrescente de concentração de K a partir da superfície do solo (Figura 8 e Figura 9). Essa formação de gradiente é uma característica comum em áreas onde não é efetuado o revolvimento do solo e a aplicação dos fertilizantes é realizada em superfície como foi observado por Steiner (2014). Por se tratar de uma área de colheita mecanizada com manutenção da palhada sobre o solo, ocorre acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes na camada superficial do solo.

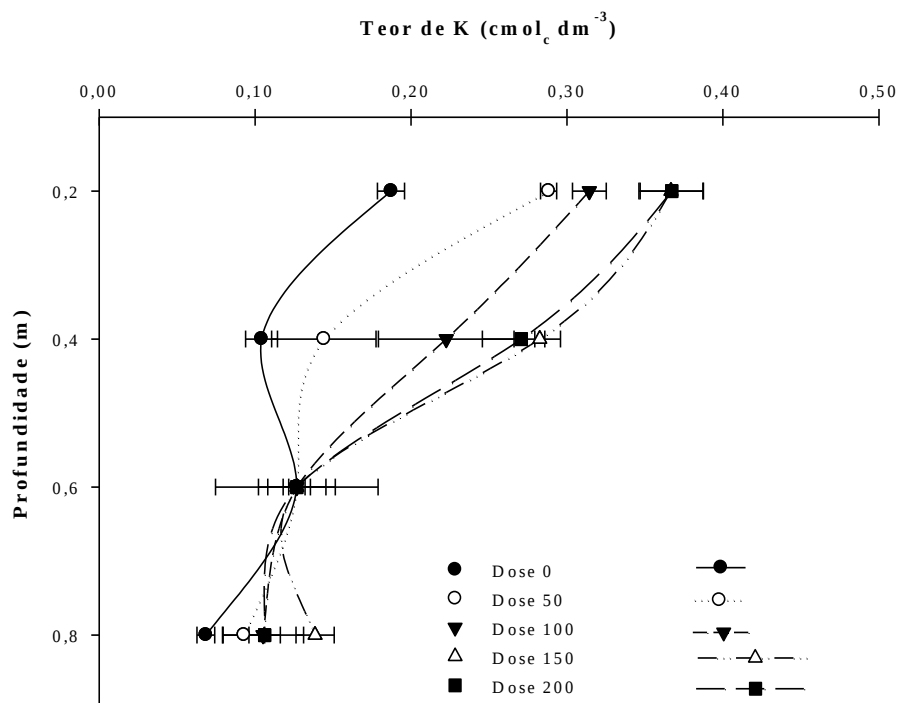


Figura 8. Potássio acumulado em profundidade, aos 180 DAB, em função da aplicação de doses de adubação potássica no solo.

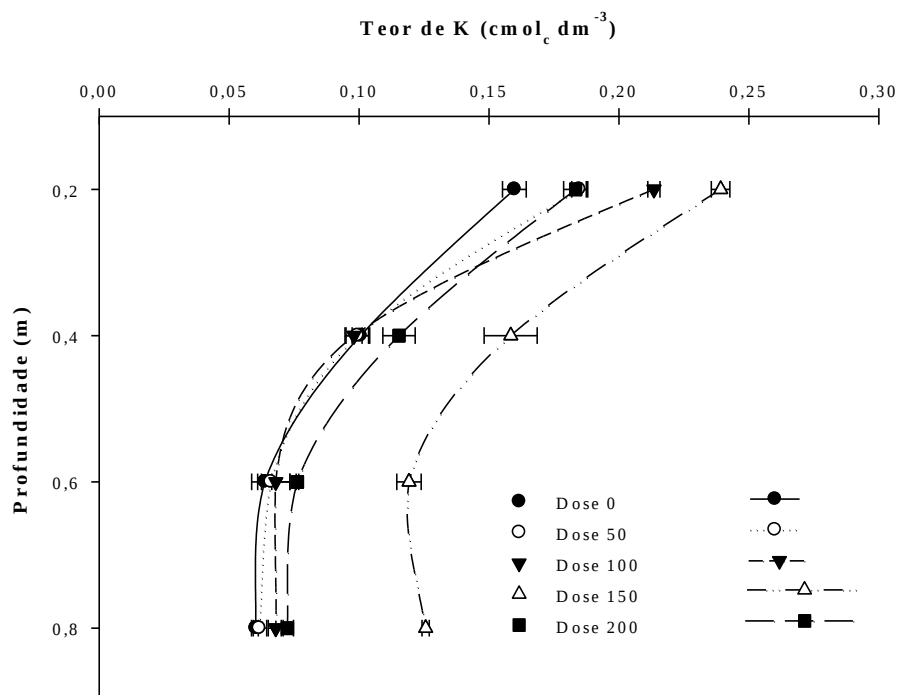


Figura 9. Potássio acumulado em profundidade, aos 330 DAB, em função da aplicação de doses de adubação potássica no solo.

Após um ciclo de cultivo da cana-de-açúcar, 330 DAB, é possível verificar aumento nos teores de potássio em relação ao que estava inicialmente presente no solo na profundidade de 0,60-0,80 m, o qual correspondia a $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1) e ao final do experimento foi de $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (média dos tratamentos), ou seja, aumento de 54,34%.

Para a profundidade de 0,40-0,60 m, em relação a primeira avaliação (180 DAB), houve aumento no teor de potássio quando comparado com o teor inicial, os quais apresentaram valores de $0,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1) e $0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 6), respectivamente. Por outro lado, na avaliação final, o teor de K trocável nessa profundidade decresceu 37,96% quando comparada com a avaliação realizada aos 180 DAB. Essa redução pode ter ocorrido em função do deslocamento desse nutriente para camadas mais profundas, justificando o aumento de potássio de 0,60-0,80 m, ou pela própria absorção pela planta.

Como a cana-de-açúcar apresenta sistema radicular profundo, conseguiria aproveitar parte desses nutrientes carregados para essas camadas. Uma vez que, cerca de 85% da massa radicular total se encontra até 0,50 m de profundidade (Marin et al., 2009).

Para Koffler & Donzeli (1987), em solos de textura argilosa, relevo plano e alta fertilidade, as raízes da cana tem, normalmente, profundidade efetiva em torno de 0,6 m.

Steiner (2014) realizou estudo durante 12 anos (2000 a 2012), em dois solos tropicais de texturas distintas, LATOSSOLO VERMELHO de textura média (210 g kg⁻¹ de argila) e LATOSSOLO VERMELHO de textura argilosa (680 g kg⁻¹ de argila), nos quais, anualmente foram aplicadas doses de K₂O variando de 0 a 180 kg ha⁻¹. O autor constatou que adubação potássica alterou a dinâmica de K nas duas classes de solo, resultando no aumento da movimentação do nutriente para as camadas mais profundas, sendo que, no solo de textura média o K teve maior mobilidade vertical. Quando não houve adição de K ao solo, os valores de K trocável foram de 0,046; 0,027 e 0,016 cmol_c dm⁻³ para as profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, respectivamente, e, permaneceram constantes nas demais profundidades do solo, com valor médio na camada de 0,4-1,0 m de 0,008 cmol_c dm⁻³. Com a aplicação de doses iguais ou superiores a 90 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O, foram detectados altos teores de K trocável na camada de 0,6-1,0 m. Para o autor, considerando-se a lixiviação efetiva aquela que ocorre abaixo de 0,4 m de profundidade do solo, tem-se a dose crítica de 90 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O para o solo de textura média, e de 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O para o solo argiloso, ou seja, acima dessas doses há expressiva lixiviação de K abaixo de 0,40 m no perfil do solo.

Apesar da intensa extração de K pela soqueira de cana-de-açúcar, média de 325 kg ha⁻¹ (Oliveira et al., 2010b), os teores de K-trocável apresentaram pequena redução durante o ciclo da cultura, 6,41 e 20,0% nas avaliações realizadas aos 180 e 330 DAB, quando comparados com o teor de K antes da instalação do experimento (0,20 cmol_c dm⁻³ de 0-0,2 m). Isso pode estar relacionado à alta taxa de ciclagem do potássio, em que mais de 85% do potássio contido na palhada da cana-de-açúcar é liberado antes de sua decomposição (Almeida, 2013). Rodella et al. (1983), por meio de ensaios instalados nas zonas canavieiras de São Paulo, Minas Geras, Paraná e Santa Catarina, sugeriram nível crítico de 0,20 cmol_c dm⁻³ de K no solo para produção relativa de 90%. Dessa maneira, as doses de 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O deixaram um residual no solo capaz de suprir a próxima safra. Vale ressaltar que a permanência desse nutriente no solo irá depender de fatores como: condições edafoclimáticas (precipitação pluviométrica que está relacionada com o volume de água que irá percolar no perfil) (Rosolem et al., 2006), textura e CTC do solo (Rosolem et al., 2006; Werle et al., 2012), elementos que tem grande importância quanto à movimentação vertical do íon K⁺ no solo.

4.3 VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE K DA PALHA

O valor médio de palha produzida no primeiro corte da variedade IAC 91-1099 foi de 13.333 kg ha⁻¹ de fitomassa seca. Sendo que, a decomposição da palha foi ajustada a um modelo exponencial, e encontra-se representada na Figura 10. A análise da decomposição em função do tempo mostra que a maior redução de fitomassa seca remanescente ocorreu a partir dos 120 DAB. Esse acontecimento pode ser atribuído ao início do período chuvoso, uma vez que, com base na Figura 2, é possível verificar que a partir do mês de setembro iniciaram-se as chuvas na região, intensificando-se a partir do mês de outubro, com precipitação pluviométrica mensal igual a 65 mm. Nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril a precipitação pluviométrica mensal foi de 283, 382, 360, 380, 184 e 97 mm, respectivamente. Associado ao início da estação chuvosa pode-se citar o aumento da temperatura média mensal, sendo registrada temperatura média de 26°C nos meses de outubro a fevereiro e no mês de abril, e de 28°C no mês de março, representando um aumento de 12 e 18%, respectivamente, quando comparado com a temperatura média registrada nos meses de agosto e setembro (23°C).

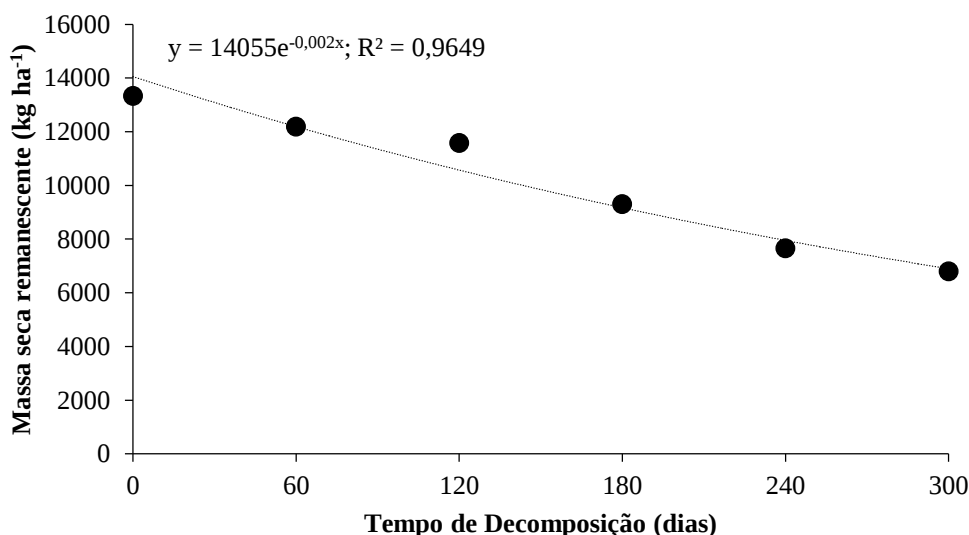


Figura 10. Massa seca remanescente da palhada de cana-de-açúcar (kg ha⁻¹) ao longo de um ciclo (300 dias).

O valor de redução no peso de fitomassa seca no decorrer dos 300 dias de avaliação foi de 6.537,83 kg ha⁻¹ ou 49,03% da quantidade inicial (Figura 10). Benedetti

(2014) estudou o efeito de diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar depositada sobre o solo (9.240, 18.490 e 27.730 kg ha⁻¹ de fitomassa seca) em um LATOSSOLO VERMELHO Acriférico, na região sudoeste do estado de Goiás, durante um ciclo de 360 dias. O autor observou redução de massa da palhada de cana-de-açúcar de aproximadamente 42, 37 e 37% para as quantidades de palha supracitadas, respectivamente. Esses valores correspondem a uma redução de 3.834,6, 6.915,26 e 10.371,02 kg ha⁻¹ de matéria seca nas fitomassas referentes, para as quantidades iniciais de palha.

Valores semelhantes também foram encontrados por Fortes et al. (2012), na cidade de Jaboticabal-SP, no ano safra 2006/07, em que, os autores observaram redução de 4.500 kg ha⁻¹ de fitomassa seca, o que representa 45% na quantidade inicial da fitomassa (10.000 kg ha⁻¹). Ao dar continuidade ao experimento, avaliações ao longo de três ciclos (safra 2006/08), houve redução de 73% (7.302 kg ha⁻¹) da massa seca inicial.

Essa decomposição lenta da palhada da cana-de-açúcar, se deve a elevada relação C/N, em torno de 38,6 (Ramos et al., 2016) que de acordo com Smith & Douglas (1971), relação C/N acima de 20, apresenta pequena taxa de mineralização em um ano agrícola. Oliveira et al. (1999a), em estudo sobre a degradação da palhada de cana-de-açúcar, observaram que ao final de um ciclo de onze meses, a porcentagem média de liberação dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, em relação ao total contido na palhada da cana recém colhida, foi de 18, 67, 93, 57, 68 e 68%, respectivamente.

Para Coelho & Verlengia (1973), até o quinto mês de idade, a absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar é pequena, aumentando intensamente daí em diante. Ao nono mês absorveu cerca de 50% do potássio, cálcio e magnésio e um pouco mais de 30% de nitrogênio, fósforo e enxofre do total que a cultura absorve durante todo o seu ciclo vegetativo. Neste sentido, essa taxa de decomposição da palhada de cana-de-açúcar, inicialmente lenta, intensificando-se a partir do quarto mês (120 DAB), permite que a cultura tenha um melhor aproveitamento dos nutrientes liberados. Com exceção do K que pode ser lavado da palhada sem que haja decomposição, sendo rapidamente disponibilizado. Tudo isso, somado ao fato de que a manutenção da cobertura vegetal por um período mais longo, reduz as perdas de água por evaporação, mantém maior umidade no solo, e conseqüentemente favorece a absorção de nutrientes pela planta, uma vez que, os nutrientes são absorvidos da solução do solo. Ainda, ocorre aumento da infiltração de

água no solo, diminui a erosão, melhora a estrutura do solo e aumenta a sua CTC (Oliveira et al., 1999a).

A constante de decomposição dos resíduos encontrada no presente estudo foi de $0,002 \text{ g dia}^{-1}$. Valor semelhante foi encontrado por Stancatte et al. (2015) estudando a decomposição de palha de cana-de-açúcar em cultivo de primeira soca em Iracemápolis – São Paulo, em que, os autores obtiveram constante de decomposição (k) igual a $0,003 \text{ g dia}^{-1}$ para uma área com $12.340 \text{ kg ha}^{-1}$ de palha. Ivo et al. (2015), avaliando a produção e decomposição de palhada em área de cultivo de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, encontraram constante de decomposição de $0,003$ e $0,004 \text{ g dia}^{-1}$ para segunda e terceira soca em área com $12.600 \text{ kg ha}^{-1}$ de palha. Potrich et al. (2014), estudando a decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar submetidos a diferentes doses de nitrogênio (N), encontraram constante de decomposição igual a $0,0008 \text{ g dia}^{-1}$ em uma área com 2.000 kg ha^{-1} de restos culturais, sem aplicação de N. Quando se aplicou 50 kg ha^{-1} de N, houve aumento da constante de decomposição para $0,002$ e para $0,003$ aplicando 100 kg ha^{-1} de N. Comportamento semelhante foi constatado por Vitti et al. (2008) que observaram que a quantidade de palha que permaneceu sobre o solo, após um ano agrícola, variou de 25 a 36%, com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N e sem aplicação de N, respectivamente.

Essa diferença pode estar relacionada com as variações nas condições climáticas entre as localidades dos experimentos, uma vez que, os fatores como temperatura, umidade, variedade da cana-de-açúcar e ação de micro-organismos alteram o processo de decomposição da palha (Oliveira et al., 1999a; 1999b). Na presente pesquisa a temperatura média anual foi de $24,7^{\circ}\text{C}$ enquanto no trabalho de Ivo et al. (2015) a temperatura média registrada foi de 27°C . De acordo com Stanford et al. (1973), estudo com a incubação de onze solos, em temperatura variando de 5 a 35°C , constatou-se que a cada acréscimo de 10°C a taxa de mineralização praticamente dobra. Benedetti (2012) trabalhando com nível de 9.240 kg ha^{-1} de massa seca obteve constante de decomposição igual $0,01 \text{ g dia}^{-1}$.

O tempo de meia vida encontrado para a palhada da cana-de-açúcar nessa pesquisa foi de 346,5 dias. Santos et al. (2015) observaram diferença no ritmo de decomposição e no tempo de meia vida da palhada de cana-de-açúcar em regiões com condições climáticas contrastantes, em que, os experimentos foram conduzidos nos municípios de Iracemápolis e Quatá, ambos no estado de São Paulo. Os autores

observaram que para uma massa de resíduos vegetais de 15.000 kg ha⁻¹ (base seca) depositada sobre o solo, enquanto para município de Iracemápolis o tempo de meia vida foi de 240 dias, em Quatá, metade desses resíduos vegetais se decompõe por volta de 120 dias, constatando que na região de Quatá com solos arenosos e amplitudes térmicas maiores, o ritmo de decomposição é mais acelerado.

Nas regiões de Cerrado uma das principais dificuldades para se obter sucesso nos sistemas conservacionistas está relacionado a rápida decomposição da fitomassa depositada sobre o solo devido as elevadas condições de temperatura e umidade. Neste sentido, a cultura da cana-de-açúcar pode contribuir no sistema de conservação do solo, pois é capaz de aportar grandes quantidades de palhada por hectare. Além disso, a capacidade de permanência do material vegetal no solo é elevada (Calegari et al., 1993).

Em relação ao K presente na palhada da cana-de-açúcar, houve liberação de 79,25 kg ha⁻¹ (Figura 11), o que correspondeu a um percentual de 94,35% do inicialmente existente na palhada (84,00 kg ha⁻¹) (Figura 12). A constante de liberação de K pela palha da cana-de-açúcar corresponde a 0,01 g dia⁻¹, sendo necessário aproximadamente 70 dias para que metade do potássio presente inicialmente na palhada da cana-de-açúcar seja liberado para o sistema solo-planta. Essa grande liberação do K deve-se ao fato de esse nutriente não ser constituinte de nenhum composto existente na planta, e estar presente na forma iônica (Calonego et al., 2005; Malavolta et al., 1989; Meurer, 2006), o que facilita a sua saída da célula após o rompimento da membrana plasmática.

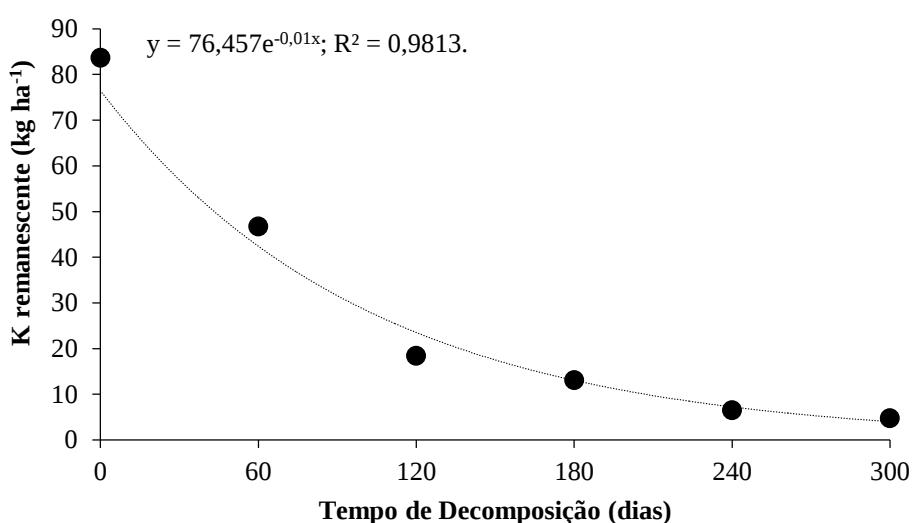


Figura 11. Teor de potássio remanescente da palhada de cana-de-açúcar (kg ha⁻¹) ao longo de um ciclo (300 dias).

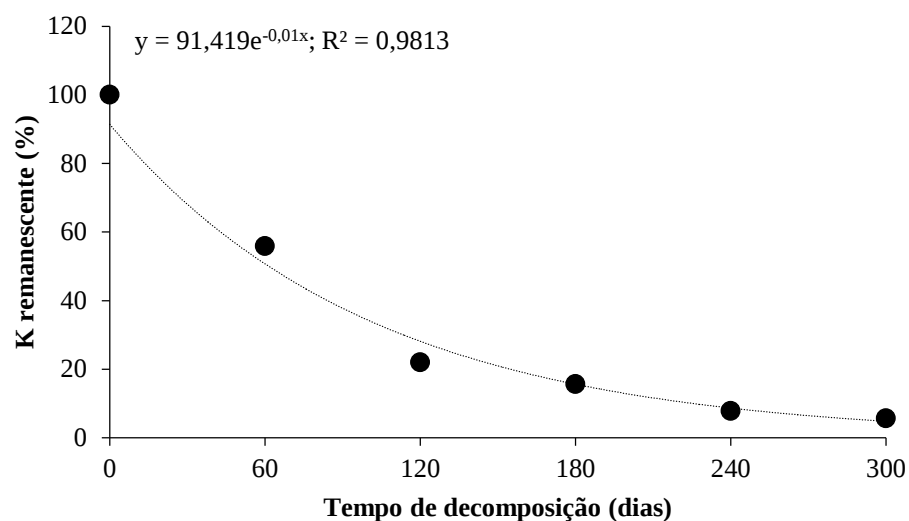


Figura 12. Porcentagem (%) de K remanescente na palhada de cana-de-açúcar ao longo de um ciclo (300 dias).

Em relação à taxa de liberação de K pela palhada de cana-de-açúcar, Benedetti (2014) observou liberação de 89, 87 e 79% do potássio da palhada para os tratamentos com 9.240, 18.490 e 27.730 kg ha⁻¹ de massa seca, respectivamente. Esses valores representaram um aporte de 19, 37 e 50 kg ha⁻¹ de K, em ordem crescente para as doses utilizadas no experimento. Oliveira et al. (1999a), em estudo sobre a degradação da palhada da cana-de-açúcar, concluíram que o K foi o elemento mais liberado pela palhada de cana, em média, ao final de 11 meses, houve uma liberação de 93% do K inicialmente existente na palhada. Comportamento semelhante foi encontrado no trabalho de Oliveira et al. (1999b) em estudo sobre decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar, em que houve liberação de 56 kg ha⁻¹ de K, o qual corresponde a um percentual de 85% do inicialmente presente na palhada. Forte et al. (2012) avaliando a decomposição a longo prazo de resíduos da colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, constataram que o K foi o nutriente mais liberado pelos restos culturais após três ciclos, em que foi liberado 43,1 kg ha⁻¹ de K, correspondendo a 92% no inicialmente presente na palhada.

Estudando o acúmulo e liberação de K na cultura do milho, Perin et al. (2010) observaram que esse nutriente foi liberado de forma rápida, com duas fases, a primeira apresentando taxas mais elevadas nos primeiros 15 dias e a segunda mais lenta a partir dessa data. Os autores encontraram constante de liberação desse nutriente de 0,06 g dia⁻¹ e tempo de meia vida igual 12 dias, com coeficiente de determinação de 96%. Esse baixo período de meia vida pode ser atribuído ao período de corte dessas plantas de

cobertura, uma vez que, o corte foi realizado no mês de dezembro, apresentando intensa precipitação pluviométrica e temperaturas elevadas.

Segundo Benedetti (2014), o milheto (*Pennisetum glaucum*) é uma espécie de planta que se aproxima da estrutura química da palhada de cana-de-açúcar, sendo rico em carboidratos estruturais e com altos teores de celulose. Nesse sentido, o menor tempo de meia vida e a maior constante de liberação de K observado no trabalho de Perin et al. (2010), quando comparado com a presente pesquisa, podem ser atribuídos as condições climáticas bem contrastantes entre os dois estudos. Enquanto o primeiro apresentou intensa precipitação pluviométrica e temperaturas elevadas nos meses iniciais após o corte. No último, o experimento teve início em um período de seca (junho de 2017), cujos dois meses seguintes não foi registrado precipitação pluviométrica (Figura 2) e cujas temperaturas médias corresponderam a 20 e 23°C (julho e agosto de 2017).

4.4 BALANÇO DE K

A quantidade de K inicialmente presente no solo, levando em consideração até a profundidade de 0,8 m, assim como a quantidade inicial do elemento contida na palhada, foram iguais para todos os tratamentos. Para o balanço desse nutriente no solo (Tabela 3), verificou-se saldo negativo para todas as doses de K₂O estudadas, exceto para a dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O, a qual resultou em saldo positivo de 133 kg ha⁻¹ de K (Figura 13). O saldo positivo indica que o K remanescente no sistema, dependendo das condições de cultivo, pode estar sujeito a perdas por lixiviação, ou ainda, pode se ligar as cargas negativas do solo. A segunda hipótese é mais provável, por se tratar de um solo de textura argilosa e com CTC alta.

O maior balanço negativo (-81,11 kg ha⁻¹) ocorreu no tratamento que não foi aplicado adubação potássica. Nesse tratamento foi verificada a menor quantidade de K no solo ao final do experimento, maio de 2018, o qual correspondeu a 299,70 kg ha⁻¹, o que resultou em menores quantidades totais de K ao final do período de avaliação (368,29 kg ha⁻¹). Para as doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, o saldo negativo foi de -61,13 e -21,14 kg ha⁻¹, respectivamente. Esse resultado mostra que à medida que aumentou as doses de potássio, houve redução do saldo negativo do nutriente no solo.

A dose de 200 kg ha⁻¹ de K₂O, apesar de ter resultado em saldo negativo (-17,48 kg ha⁻¹), esse valor ainda foi maior que o observado nas doses de 0, 50 e 100 kg ha⁻¹.

O saldo negativo na maior dose de K₂O estudada sugere que podem ter ocorrido maiores perdas de K, seja por erosão, escoamento superficial ou lixiviação, uma vez que, a quantidade de K₂O aplicada na superfície do solo foi maior. Esse comportamento é explicado pelas altas concentrações do elemento na camada superficial do solo, decorrentes das maiores doses aplicadas, e por se tratar de um sistema com acúmulo de resíduos vegetais na superfície, facilitando as perdas, principalmente por erosão e escoamento superficial, assim como mencionado por Bertol et al. (2004).

Tabela 3. Balanço de K, no solo e na lavoura de cana-de-açúcar, em função da aplicação de doses de potássio no solo, levando em consideração até a profundidade de 0,8 m (ano agrícola 2017/18).

	Doses de K ₂ O				
	0	50	100	150	200
Balanço no solo	-----K (kg ha ⁻¹)-----				
Junho/17					
K no solo ⁽¹⁾	365,40	365,40	365,40	365,40	365,40
K palhada cana ⁽²⁾	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00
Total (1) ⁽³⁾	449,40	449,40	449,40	449,40	449,40
Maior/18					
K no solo ⁽¹⁾	299,70	321,00	349,00	501,00	349,00
K palhada cana ⁽⁴⁾	68,59	67,27	79,26	81,72	82,92
Total (2) ⁽⁵⁾	368,29	388,27	428,26	582,72	431,92
Saldo⁽⁶⁾	-81,11	-61,13	-21,14	133,32	-17,48
Balanço na lavoura	-----K (kg ha ⁻¹)-----				
Entrada					
Doses de K ₂ O ⁽⁷⁾	0,00	41,50	83,00	124,50	166,00
Saída					
Colmos colhidos ⁽⁸⁾	133,92	127,04	178,27	181,55	212,23
Saldo	-133,92	-85,54	-95,27	-57,05	-46,23

⁽¹⁾Na camada de 0,0 a 0,8 m de profundidade. ⁽²⁾Teor de K na palhada da cana-de-açúcar no início do experimento. ⁽³⁾K inicial (K solo + K na palhada da cana-de-açúcar). ⁽⁴⁾Teor de K remanescente na palhada ao final do ciclo da cultura + K acumulado no ponteiro no momento da colheita. ⁽⁵⁾K final (K solo + K na palhada da cana-de-açúcar). ⁽⁶⁾Total (2) – Total (1). ⁽⁷⁾Doses de K₂O (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicados na forma de cloreto de potássio (KCl). ⁽⁸⁾K exportado por meio da colheita dos colmos da cana-de-açúcar.

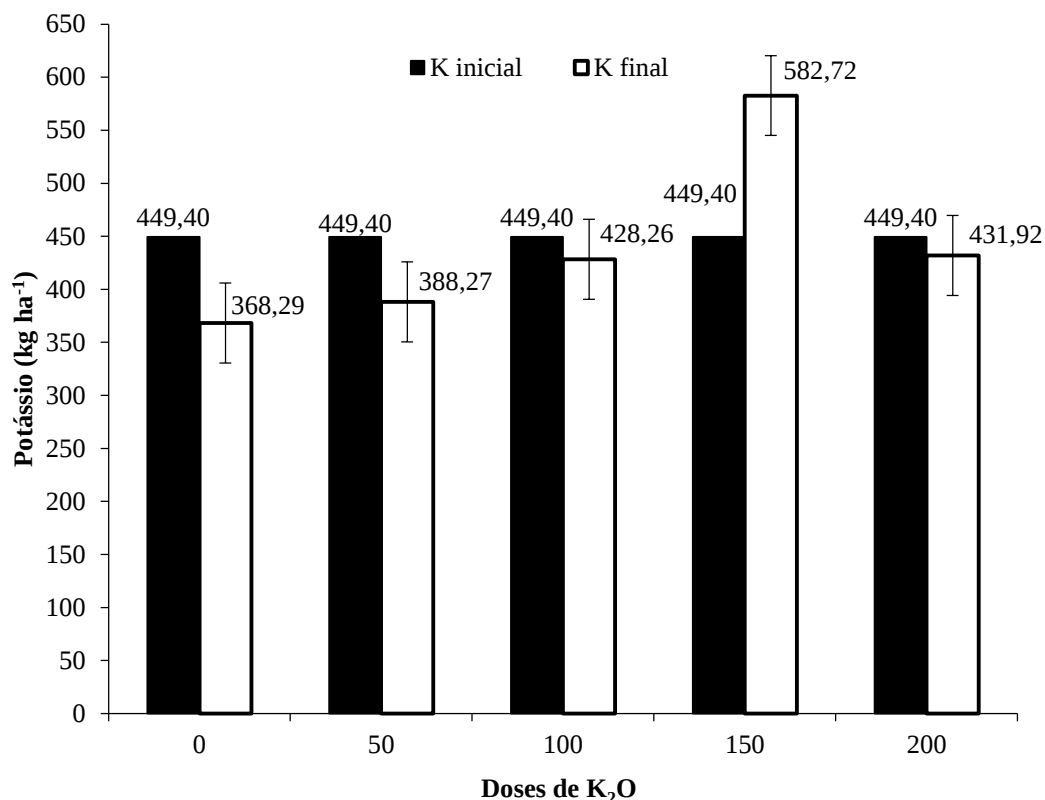


Figura 13. Balanço de potássio no solo para cultivo da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo.

No segundo tipo de balanço, denominado “na lavoura” (Tabela 3), que levou em consideração o K aplicado via adubação (entradas) e K exportado através da colheita dos colmos (saídas), verificou-se saldo negativo para todas as doses estudadas. Isso se deve ao fato que, a exportação anual de K, através da colheita dos colmos, foi superior à quantidade do nutriente adicionada via adubação em todas as doses de K₂O testadas. Observa-se que, à medida que aumentou a quantidade de K aplicado, houve maior acúmulo desse nutriente nos colmos (maior exportação). No entanto, como as doses foram crescentes, mesmo ocorrendo maior exportação, os saldos foram maiores à medida que aumentava as doses de K₂O, apresentando valores de: -133,92, -85,54, -95,27, -57,05 e -46,23 com as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

Considerando o balanço de K na lavoura e no solo, a exportação anual de K através da colheita dos colmos foi superior à quantidade do nutriente adicionada via adubação em todas as doses de K₂O estudadas (Tabela 3). No entanto, por se tratar de um sistema de colheita mecanizada, sem despalha a fogo, a palhada depositada sobre o solo foi responsável por fornecer quantidade considerável de K para o sistema, somado as reservas

de K inicialmente presentes no solo, foi possível obter um balanço positivo, no solo, para a dose de 150 kg ha^{-1} de K_2O , a qual resultou em $113,32 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K (Figura 13).

Ferreira et al. (2011), em trabalho sobre a ciclagem e balanço de potássio em sistema de integração lavoura-pecuária sob sistema de semeadura direta, em função da intensidade de pastejo por bovinos, no inverno, e sua relação com a produtividade da soja, cultivada no verão, encontraram balanço de K positivo e negativo, dependendo da condição adotada. O solo da área experimental foi um LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura argilosa (540 g kg^{-1} de argila) que vinha sendo conduzido em semeadura direta durante dez anos. A pastagem foi constituída por azevém+aveia preta com diferentes alturas de pasto (10, 20 e 40 cm). Os autores dividiram os resultados em balanço de K na lavoura e balanço de K no solo. No primeiro caso, o balanço foi dependente da quantidade de K exportado pelos grãos de soja. Como na altura de pastejo de 20 cm a produtividade de grãos de soja foi maior, houve maior exportação de K, o que resultou em um balanço negativo desse nutriente na lavoura ($-0,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Nas demais alturas de pastejo observou-se balanço positivo. No segundo tipo de balanço, no solo, os autores encontraram saldo negativo nas áreas pastejadas e positivo na área sem pastejo. O maior balanço negativo (-104 kg ha^{-1}) ocorreu na área de maior intensidade de pastejo, possivelmente em decorrência de perdas por erosão, lixiviação, favorecido pela maior ciclagem de nutrientes, resultante da presença de maior quantidade de animais, aliada à grande pluviosidade ocorrida no local no período de pastejo.

Estudando o balanço de K em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura argilosa, com teor inicial de K igual a $0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, em uma área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, Santos et al. (2008) também obtiveram balanço positivo de K, durante oito anos em sistema de semeadura direta com soja-milho no verão e milheto no inverno. No período de oito anos de cultivo, foi aplicado um total de 730 kg ha^{-1} de K_2O em cada tratamento, que foram constituídos por duas fontes de fósforo (P) (superfosfato triplo granulado e fosfato natural de alta reatividade) e duas formas de aplicação (a lanço e no sulco de plantio) + o controle (sem aplicação de P). De acordo com os autores o rendimento de grão das culturas foi o principal responsável pela variação do balanço de potássio entre os tratamentos. No tratamento controle, sem aplicação de P, o rendimento de grãos foi bem inferior aos demais tratamentos ocasionando uma grande diferença entre $(K_i + K_{\text{apl}}) - (K_{\text{exp}} + K_{\text{mehlich 1}})$ e, com isso, maior valor de $K_{\text{balanço}}$, 490 kg

ha⁻¹ de K₂O, enquanto que, no tratamento com maior produção de grãos, esse balanço foi de apenas 103 kg ha⁻¹ de K₂O.

Em experimento conduzido, por 12 anos, em LATOSSOLO VERMELHO de textura média (210 g kg⁻¹ de argila), Steiner (2014) também constaram saldos negativo e positivo no balanço de K no sistema solo planta, dependendo dos tratamentos adotados. A aplicação anual de doses variando de 60 a 180 kg ha⁻¹ de K₂O resultou num excedente de K na lavoura de 7 a 107 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A não aplicação de adubação potássica resultou em um balanço negativo de -4,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Steiner et al. (2012), objetivando avaliar o efeito da adubação mineral, orgânica e mineral+orgânica em um LATOSSOLO VERMELHO de textura muito argilosa em Marechal Cândido Rondon, Paraná, constataram que ambos os sistemas estudados resultaram em balanço negativo de K no solo, com uma remoção líquida média de 39 a 82 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Isso representa uma ameaça para a sustentabilidade do sistema de produção em longo prazo, devido ao esgotamento das reservas desse nutriente no solo.

Dobermann et al. (1996) em 11 experimentos de longa duração realizados em cinco países asiáticos, em sistema de cultivo com arroz irrigado, determinaram que o balanço de K na maioria dos locais era negativo, com uma remoção líquida média de 34 a 63 kg ha⁻¹ ano⁻¹, observando significativo esgotamento das reservas de K no solo em muitos locais. Os autores ainda estimaram que a quantidade de K ciclada anualmente do solo em plantas de arroz é de sete a dez milhões de toneladas em sistemas de arroz irrigado da Ásia, e que, cerca de um milhão de toneladas desse total é removido juntamente com o grão colhido. Os autores concluíram que as recomendações para adição de K, na maioria das regiões com cultivo intensivo de arroz irrigado, são insuficientes para repor as saídas desse nutriente. Estudos realizados no sul da Suécia (Bollerup, Önnestad e Östra Ljungby) por Andrist-Rangel (2007), em experimentos conduzidos de 1987 a 2004, em solos de textura arenosa, mostraram que o balanço médio anual de K durante esses 18 anos variou de -21 a -60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K em sistema convencional e de -22 a -75 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em sistema orgânico, indicando que os atuais sistemas de manejo dependem em certa medida de K das reservas do solo.

Ao se pensar em sustentabilidade do sistema de produção da cana-de-açúcar, a dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O seria a mais indicada, com a finalidade de evitar o esgotamento das reservas de K do solo, uma vez que, foi a dose que proporcionou maior saldo positivo de K no sistema. No entanto, é de grande importância levar em consideração as

características de solo, de clima e do tipo de cultivo de cada região, de modo a evitar que esse excedente de K deixado no sistema, seja perdido por lixiviação. Em solos de textura média e arenosa, com baixa CTC, as chances de lixiviação de K são altas, sendo, portanto, recomendável o parcelamento da adubação potássica, principalmente quando se trata de cana-planta, em que o fertilizante é aplicado no sulco de plantio (Otto et al., 2010). Também, em regiões com elevada precipitação pluviométrica anual as chances de lixiviação de K são elevadas nas condições de solo mencionadas anteriormente.

Nas condições do presente estudo, as chances de perdas de K por lixiviação são pequenas, como foi demonstrado ao se avaliar a movimentação de K no solo. Por se tratar de um solo de textura argilosa (440 g kg^{-1} de argila) com elevada CTC ($10,30 \text{ cmolc dm}^{-3}$), o K em solução pode ser adsorvido as cargas negativas do solo e tornar-se menos disponíveis às plantas. Dessa maneira quanto maior o poder-tampão do solo em K, menor é a absorção de K pela planta, e nesses solos, há necessidade de maior quantidade desse elemento para satisfazer a demanda da planta (Otto et al., 2010), justificando a aplicação da dose de 150 kg ha^{-1} .

Ainda, por se tratar de um sistema conservacionista, sem despalha a fogo, em que os restos culturais permanecem na superfície do solo, e pela aplicação dos fertilizantes ser realizada em superfície, há uma alta retenção de K na camada superficial do solo, devido aos maiores teores de matéria orgânica e CTC, o que reduz a movimentação vertical do K no perfil. Portanto, o cultivo de plantas com elevada capacidade de extrair K e/ou capazes de explorar camadas profundas do solo, como a cana-de-açúcar, associado a uma adubação adequada, é importante para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, minimizando as perdas de K e melhorando a sua disponibilidade no solo.

A importância de se realizar o balanço de nutrientes no sistema solo-planta está relacionada com a possibilidade de adequar a adubação das safras seguintes com base na quantidade do nutriente que entrou no sistema e a quantidade que saiu, seja exportado pelo produto colhido, seja através de outras perdas (como exemplo, lixiviação de K). Essa análise permite ter um controle maior e mais certeza na hora de fazer as recomendações de adubação. Em safras de elevada produtividade, a exportação de nutrientes também será superior, e conseqüentemente, a quantidade de fertilizantes aplicados para a safra seguinte deve ser maior. Por outro lado, quando se tem uma queda de safra, seja por má distribuição das chuvas ou ocorrência de pragas e doenças, a remoção de nutrientes pela colheita será menor, resultando em um balanço maior do nutriente no sistema. Assim, todo o trabalho

desprendido para realização desse balanço de K no sistema solo-planta para a produção da soqueira da cana-de-açúcar, tem como objetivo, não só evitar o esgotamento das reservas do solo, mas também, proporcionar à cultura, condições nutricionais que permitam um ótimo desenvolvimento, o que irá resultar em ganhos econômicos para o produtor. Sendo, portanto, necessário estudar conjuntamente o solo e a planta.

4.5 AVALIAÇÕES BIOMÉTRICAS E DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A adubação potássica, embora tenha influenciado o balanço de potássio no sistema solo-planta, não influenciou o crescimento da soqueira de cana-de-açúcar em nenhum dos períodos avaliados, os quais apresentaram valores médios de 114, 242 e 305 cm de altura. Em relação ao diâmetro de colmos (DC), a aplicação de potássio apresentou diferença significativa apenas na avaliação realizada aos 240 DAB, embora a diferença tenha sido de apenas 4% entre o maior diâmetro (36,07 mm) e o menor (34,56 mm). Para as demais avaliações, a aplicação de K no solo não afetou o DC, os quais apresentaram valores médios de 30,94 e 35,57 mm nas avaliações realizadas aos 180 e 300 DAB, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Altura de plantas e diâmetro do colmo da soqueira de cana-de-açúcar, aos 180, 240 e 300 DAB, em função da aplicação de potássio no solo.

Doses de K ₂ O kg ha ⁻¹	Altura ¹	Altura ²	Altura ³	Diâmetro ¹	Diâmetro ²	Diâmetro ³
	-----cm-----			-----mm-----		
0	108,45	230,40	298,56	29,80	35,22	35,86
50	114,2	239,08	303,08	30,47	36,07	36,06
100	117,73	242,68	306,96	31,62	35,08	34,76
150	115,15	248,12	313,38	31,72	34,56	34,82
200	113,74	250,44	301,28	31,09	34,71	36,33
Teste F	2,56 ^{ns}	2,50 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,50 ^{ns}	4,74*	1,97 ^{ns}
C.V. (%)	4,17	4,64	7,04	4,78	1,72	3,26

(¹, ² e ³ – avaliações realizadas aos 180, 240 e 300 dias após a brotação da soqueira, respectivamente. ^{ns} e * – não-significativo à 5%; e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente).

Estudando a possibilidade da redução da adubação potássica da soqueira da cana-de-açúcar cultivada sobre palha em dois solos diferentes, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico e ARGISSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico,

Almeida et al. (2015) observaram que a aplicação de K nesse último, afetou a altura da cana-de-açúcar, porém não houve influência no diâmetro do colmo e no número de perfilhos. A altura da cana aumentou quadraticamente, atingindo um máximo de 89 cm com o uso de 111 kg ha^{-1} de K_2O . Entretanto, com a aplicação da dose de 65 kg ha^{-1} de K_2O , foi possível atingir altura de 88,4 cm, o que corresponde a uma redução de 46 kg ha^{-1} de K_2O na adubação, resultado atribuído à liberação intensa deste nutriente pela palha. Esse efeito significativo das doses de K_2O pode ser atribuído ao baixo teor inicial de K trocável ($0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) encontrado no solo desse estudo.

Em relação à altura de plantas, Otto et al. (2010) obtiveram resultados semelhantes ao encontrado por Almeida et al. (2015), utilizando a cultivar SP90 3414 em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura média, com baixo teor inicial de potássio no solo ($0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os autores observaram efeito quadrático na altura das plantas de cana-de-açúcar aos 270 DAP (dias após o plantio), tanto para aplicação única no sulco de plantio, quanto para aplicação parcelada. Derivando as funções dadas pelas equações que descreveram as curvas e igualando a função a zero, os autores encontraram a dose que permite atingir a altura máxima estimada que foram de 131 e 132 kg ha^{-1} de K_2O , para aplicação única no sulco de plantio e parcelada, respectivamente.

Também trabalhando em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico com teor inicial de potássio trocável de $0,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, Flores et al. (2012) observaram, incrementos lineares na altura da cana-de-açúcar, variedade SP89-1115, em função das doses de K (0; 32,5; 65; 130 e 195 kg ha^{-1}), em que a altura máxima foi atingida com a dose de 195 kg ha^{-1} .

Diferentemente dos trabalhos supracitados, em que os autores encontraram efeito das doses de potássio nas variáveis de crescimento da cana-de-açúcar, nesta pesquisa a baixa resposta da cana-de-açúcar ao fertilizante potássico está relacionada ao teor inicial deste nutriente no solo. Nos trabalhos mencionados anteriormente o teor inicial de potássio foi considerado baixo, 0,08 (Almeida, 2015), 0,09 (Otto et al., 2010) e $0,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, (Flores et al., 2012). No presente trabalho o teor inicial de K corresponde ao nível crítico de K para a cultura ($0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) conforme Rodella et al. (1983), ou seja, esse teor já é suficiente para a cultura expressar 90% de sua produção relativa, desde que as demais condições de cultivo sejam favoráveis. Além disso, com o advento da colheita da cana sem despalha a fogo “cana-crua”, a reciclagem do K da palha que permanece sobre o solo pode diminuir a resposta da cana ao fertilizante potássico (Oliveira et al., 1999b).

Para a variável número de perfilhos, observa-se efeito significativo, com ajuste linear, para avaliações realizadas aos 60 e 120 DAB, os quais atingiram aproximadamente 15 perfilhos por metro linear, representando um incremento de 19,45 e 16,28%, respectivamente, quando comparado com o tratamento controle (Figura 14). Para as avaliações subsequentes, os tratamentos não afetaram o número de perfilhos, os quais apresentaram valores médios de 22,21, 17,47 e 14,22 perfilhos m^{-1} nas avaliações realizadas aos 180, 240 e 300 DAB, respectivamente (Figura 14).

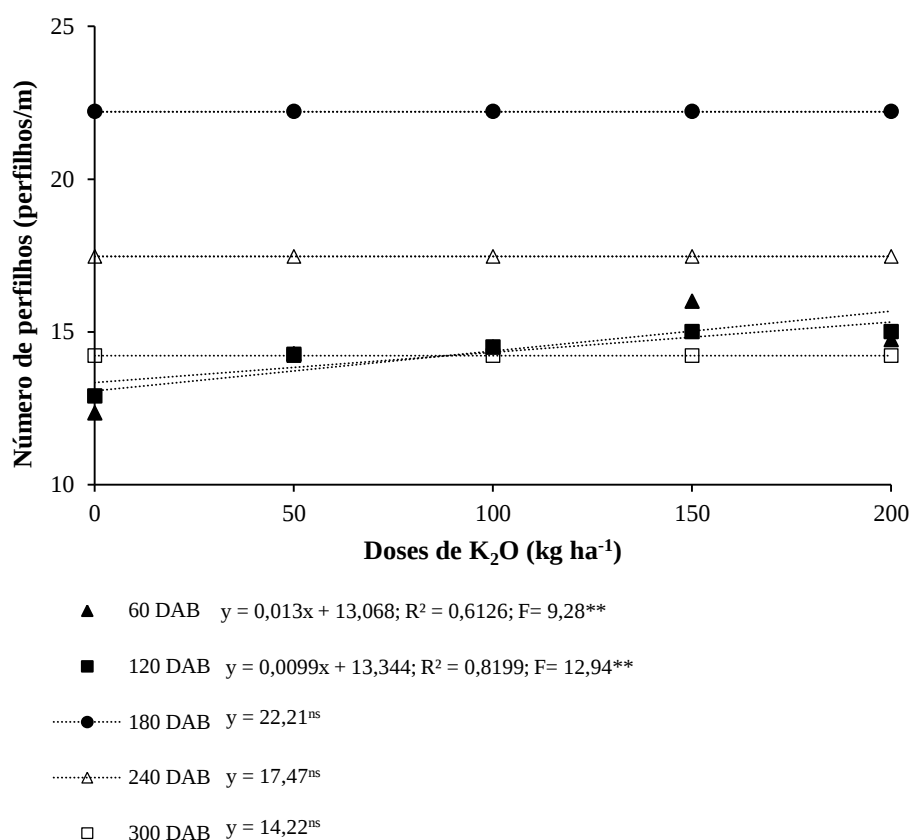


Figura 14. Número de perfilhos aos 60, 120, 180, 240 e 300 DAB da soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo. ^{ns}, ^{**} – não-significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

De acordo com Marin et al. (2009), o perfilhamento da cana-de-açúcar começa cerca de 40 dias após o plantio ou o corte da cana-planta, podendo durar até 120 dias, sendo um processo fisiológico de ramificação subterrânea que dá origem aos brotos secundários. Estes brotos, por sua vez, também dão origem a novas raízes, acelerando o desenvolvimento do sistema radicular. De acordo com estes mesmos autores, a água tem

um importante papel na rebrota, mesmo assim a escassez de água nessa fase não implica em grandes perdas.

O comportamento do perfilhamento da cana-de-açúcar, na presente pesquisa, corrobora com o que é relatado na literatura, apresentando um pico de produção de perfilhos nos meses de novembro e dezembro com queda progressiva até a colheita. Isso decorre da maior competição intraespecífica, principalmente em relação a radiação solar (Marin et al., 2009). Neste trabalho observou-se pico de perfilhamento no mês de dezembro (180 DAB) (Figura 14), no entanto não houve diferença entre as doses de K_2O estudadas. Possivelmente isso está relacionado à contribuição do K liberado pelos restos culturais da cana-planta, já que nesse período a estação chuvosa havia se estabelecido (Figura 2), acelerando o processo de liberação de K. Nas avaliações subsequentes, 240 e 300 DAB, observa-se redução do número de perfilhos, 17,42 e 14,22 perfilhos por metro linear, respectivamente, confirmando a ocorrência de auto-sombreamento e morte de perfilhos.

Assim como na presente pesquisa, Otto et al. (2010) observaram efeito significativo para a variável número de perfilhos, em que, os dados se ajustaram a função polinomial de segunda ordem para aplicação única no sulco de plantio. No referido trabalho, a partir da dose de 130 kg ha^{-1} de K_2O aplicada ocorreu decréscimo no perfilhamento. Já para aplicação parcelada, não se observou decréscimo do perfilhamento com o aumento das doses, apresentando resposta linear, para avaliações realizadas aos 270 DAB.

Uchôa et al. (2009), avaliando resposta de seis variedades de cana-de-açúcar (RB72454, SP81-3250, SP79-1011, SP80-1816, RB867515 e RB855536) a doses de potássio em um LATOSSOLO AMARELO distrocoeso, com teor inicial de K igual $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, em ecossistema de cerrado em Roraima, observaram que as doses de potássio aumentaram de modo quadrático o número de colmos por metro na linha em todas as variedades. Em que, na dose de máxima eficiência técnica, o número de colmos m^{-1} variou de 6,67 a 11,60.

Em relação a área foliar, a aplicação de potássio no solo também não promoveu efeitos significativos, em nenhum período avaliado, os quais apresentaram valores médios de 1.499, 1.862, 6.222, 5.839 e 4.273 cm^2 para as avaliações aos 60, 120, 180, 240 e 300 DAB, respectivamente (Tabela 5). Observa-se expansão da área foliar dos 60 até os 180

DAB, aumento de 315%, a partir da qual é possível verificar redução de aproximadamente 31 % da área foliar na avaliação realizada aos 300 DAB.

Estudando a área foliar em três variedades de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de fitomassa, Oliveira et al. (2007) observaram que os maiores valores ocorreram de 270 a 350 dias após o plantio (DAP), a partir do qual houve redução da área foliar. De acordo com Gomide & Gomide (1999), esta redução da área foliar seria em razão da idade avançada das folhas, aliada ao aumento da atividade respiratória para sua manutenção. Outra justificativa seria a maturação da cana-de-açúcar, que corresponde a fase em que a planta reduz significativamente seu crescimento vegetativo e passa acumular maior quantidade de sacarose nos colmos, resultando na senescência das folhas (Roberto, 2015).

De modo semelhante, o índice relativo de clorofila (IRC) também não foi influenciado pela aplicação de potássio no solo, os quais apresentaram valores médios de 44,58, 37,60, 47,31, 59,52 e 45,49 $\mu\text{g cm}^{-2}$ nas avaliações realizadas aos 60, 120, 180, 240 e 300 DAB, respectivamente (Tabela 5). Observa-se que os índices relativos de clorofila tenderam a ser maiores na avaliação realizada aos 240 DAB, independente da dose de adubação potássica utilizada. Molin & Faria (2010) avaliando três clorofilômetros do mercado, dentre eles o ClorofoLOG, para avaliação do IRC da cana-de-açúcar, em duas áreas diferentes, submetidas a três doses de N (0, 100 e 200 kg ha^{-1}), e três doses de K (0, 120 e 240 kg ha^{-1}), também não observaram influência da adubação com potássio no IRC.

Estudando a interação do nitrogênio e potássio no teor de clorofila em plantas de trigo cultivadas em casa de vegetação, Vilela (2007) concluiu que há interação entre a adubação potássica e nitrogenada para essa variável, em que, a combinação das maiores doses de nitrogênio (280 mg dm^{-3}) e de potássio (200 mg dm^{-3}) promoveu maior teor de clorofila nas folhas, resultando em maior produção de massa seca de parte aérea, espigas e raízes.

Na literatura, a avaliação do índice relativo de clorofila é muito utilizada em trabalhos que envolvem adubação nitrogenada (Godoy et al., 2003; Barbosa Filho et al., 2008; Segatto et al., 2017). Esse método permite obtenção de um índice relativo da clorofila na folha, com base na intensidade da coloração verde dessas, o qual se correlaciona com o teor de clorofila e com teor de nitrogênio (N) na folha de diversas culturas (Godoy et al., 2008). No entanto, o potássio e o nitrogênio estão fortemente relacionados pela função do primeiro na ativação da enzima redutase do nitrato (Vilela,

2007), enzima chave no processo da assimilação de nitrato pelas plantas (Allegre, 2004). Somado a isso, o metabolismo do nitrogênio nas plantas requer adequadas quantidades de potássio no citoplasma. A literatura aponta para o fato de que a maior absorção de potássio permite rápida assimilação do NH_4^+ absorvido, mantendo seu teor baixo na planta evitando toxidez. Ainda, altos teores de nitrogênio com baixos teores de potássio, favorecem o acamamento (Vilela, 2007), reduzindo a interceptação da luz solar e consequentemente reduzindo as atividades fotossintéticas do vegetal.

Tabela 5. Área foliar (AF) e índice relativo de clorofila (IRC) da soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo.

Doses de K_2O kg ha^{-1}	AF ¹	AF ²	AF ³	AF ⁴	AF ⁵
	 cm^{-2}				
0	1.385,82	1.775,88	6.039,22	6.088,54	4.219,30
50	1.438,32	1.807,14	6.040,22	5.923,42	4.252,16
100	1.466,94	1.819,72	6.129,26	5.895,22	4.268,50
150	1.625,32	1.960,12	6.309,36	5.701,76	4.285,40
200	1.580,00	1.946,60	6.594,46	5.579,46	4.338,00
Teste F	1,18 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,09 ^{ns}
C.V. (%)	13,74	17,81	9,57	6,73	7,68
Doses de K_2O kg ha^{-1}	IRC ¹	IRC ²	IRC ³	IRC ⁴	IRC ⁵
	 $\mu\text{ cm}^{-2}$				
0	44,10	36,78	48,06	53,40	44,12
50	44,66	38,16	47,10	58,52	45,02
100	45,5	39,14	48,74	59,52	46,58
150	44,4	36,98	46,24	60,96	47,06
200	44,26	36,94	46,4	65,18	44,66
Teste F	0,86 ^{ns}	2,12 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2,42 ^{ns}	1,07 ^{ns}
C.V. (%)	2,99	4,18	4,22	10,29	6,03

(¹, ², ³, ⁴ e ⁵ – avaliações realizadas aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias após a brotação da soqueira, respectivamente. ^{ns} – não-significativo à 5% de probabilidade pelo teste F,).

A aplicação de doses de potássio no solo teve efeito significativo sobre a condutância estomática nas folhas de cana-de-açúcar, com exceção das avaliações realizadas aos 120 e 180 DAB da soqueira de cana-de-açúcar, os quais apresentaram valores médios de 0,27 e 0,21 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente (Figura 15). As avaliações realizadas aos 60 e 330 DAB apresentaram comportamento semelhante (linear), em que, as doses de potássio resultaram em aumento da condutância estomática, incrementando aproximadamente 50% na primeira avaliação e 82% na última avaliação, entre a dose de 200 kg ha^{-1} e a dose zero. As demais avaliações, 240 e 300 DAB, apresentaram ajuste de regressão polinomial de segunda ordem, no entanto apresentaram comportamento

contrário. Enquanto para avaliação realizada aos 240 DAB, ocorreu aumento da condutância estomática até a dose aproximada de 100 kg ha^{-1} de K_2O , a partir da qual decresceu, para a avaliação realizada aos 300 DAB, observa-se que a condutância estomática decresce, até a dose de 100 kg ha^{-1} de K_2O , a partir da qual os valores aumentam.

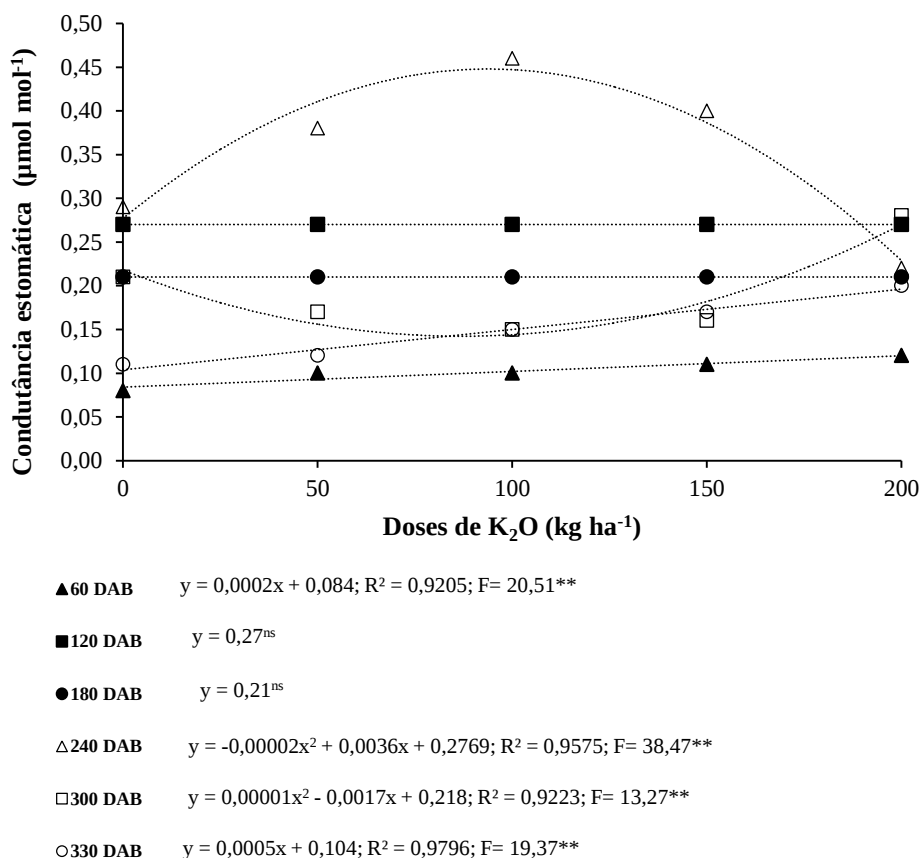


Figura 15. Efeito da aplicação de K_2O na condutância estomática (Gs) de plantas de cana-de-açúcar. ^{ns}, ^{**} – não-significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

De forma semelhante, a adubação potássica também exerceu influência sobre a transpiração na cultura da cana-de-açúcar, com exceção da avaliação realizada aos 180 DAB, que apresentou transpiração média de $5,70 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 16). Assim, como para a condutância estomática, as avaliações realizadas aos 60 e aos 330 DAB apresentaram ajuste linear, sendo que a maior dose testada (200 kg ha^{-1}) resultou em um aumento na transpiração de aproximadamente 45% (60 DAB) e 52% (330 DAB), quando comparado com o tratamento controle. As demais avaliações apresentaram ajuste à regressão polinomial de segunda ordem, sendo a dose de 100 kg ha^{-1} , que resultou na

maior taxa de transpiração para avaliação realizada aos 120 e 240 DAB. Já para avaliação realizada aos 300 DAB, seguindo o mesmo comportamento da condutância estomática, houve redução da transpiração até a dose de 100 kg ha⁻¹, a partir da qual, ocorreu aumento (Figura 16).

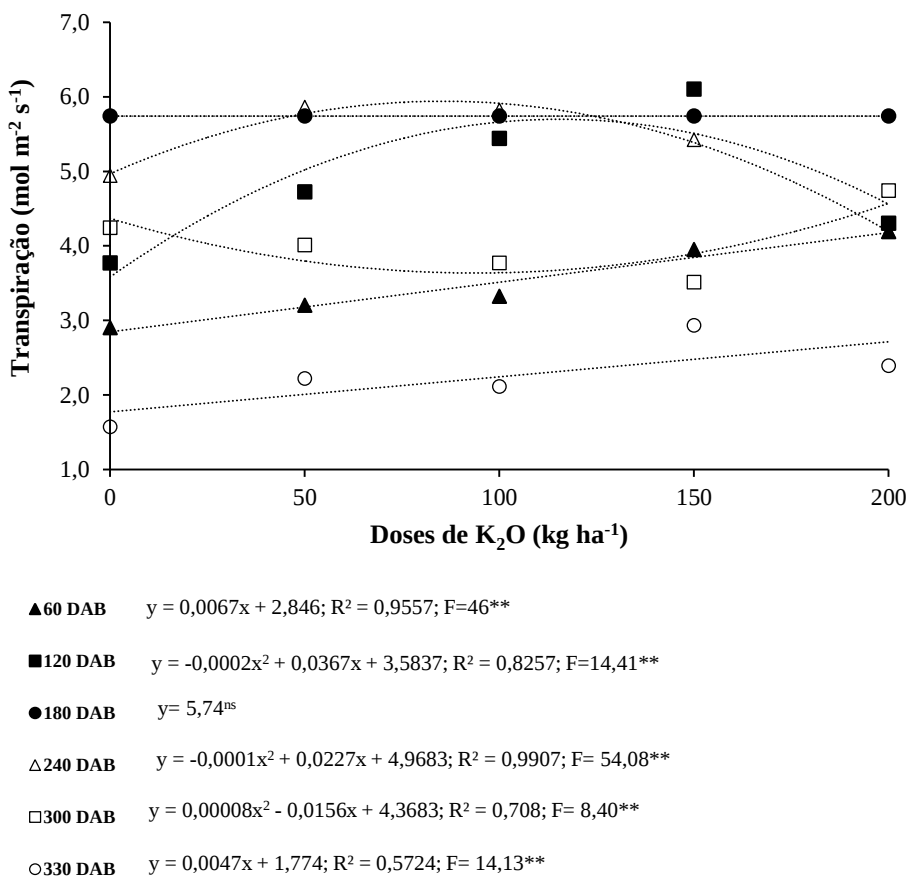


Figura 16. Efeito da aplicação de K₂O na transpiração (E) de plantas de cana-de-açúcar. ^{ns}, ** – não-significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O potássio, além de ser um potente ativador enzimático, exerce uma função fisiológica fundamental às plantas, que está relacionada com a abertura e fechamento dos estômatos. Esse nutriente influencia o ótimo turgor nas células-guardas, elevando o potencial osmótico dessas células, resultando na absorção de água das células adjacentes e, conseqüentemente, gera maior turgor e a abertura dos estômatos (Prado, 2008; Marrenco & Lopes, 2013). Por outro lado, a saída de íons das células guarda promove a perda de água e, como resultado, o fechamento do estômato (Marrenco & Lopes, 2013). Dessa maneira, plantas bem supridas em K tem maior eficiência no uso da água (Prado, 2008).

A taxa de fotossíntese líquida aumentou linearmente, em função do incremento das doses de potássio, para avaliação realizada aos 180 e 330 DAB, as quais atingiram 26,31 e 15,51 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 17). Para as demais avaliações, exceto a realizada aos 120 DAB que não houve efeito significativo, apresentando ajuste quadrado (Figura 17). A dose de K_2O que proporciona a maior taxa de fotossíntese líquida, foi a de 175,0, 104,5 e 106,8 kg ha^{-1} , para avaliação realizada aos 60, 240 e 300 DAB, respectivamente. Substituindo essas doses na equação encontra-se a taxa de fotossíntese líquida máxima estimada, que foi de 13,39, 23,59 e 10,16 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

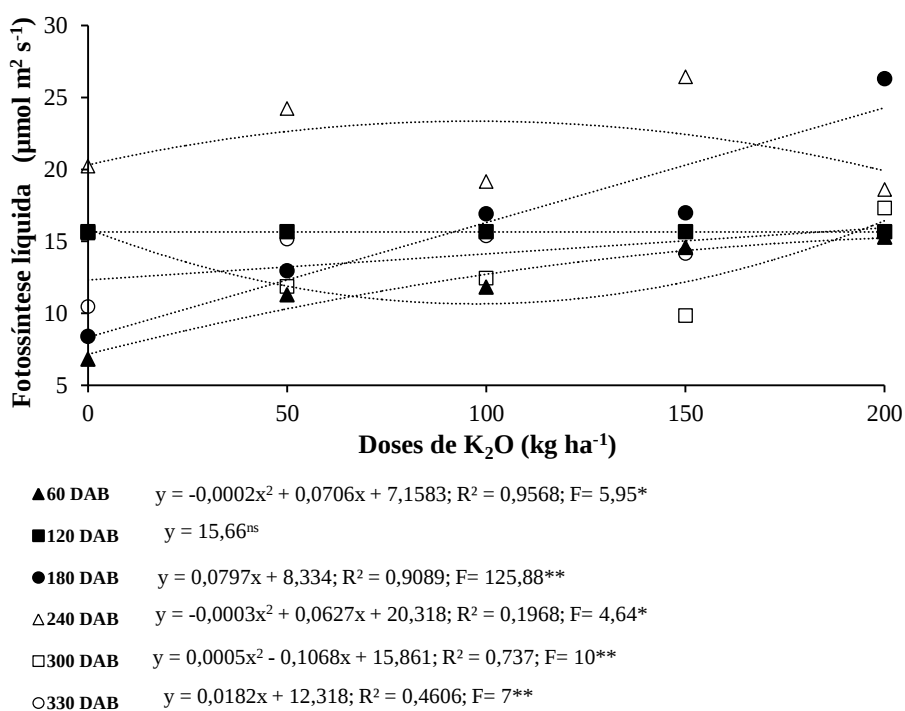


Figura 17. Fotossíntese (A) em função de doses de K_2O aplicadas no solo para cultivo de cana-de-açúcar. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Em relação à concentração interna de CO_2 , a mesma foi influenciada pela adubação potássica, nas avaliações realizadas aos 60 (ajuste quadrático), 180 (ajuste linear) e 240 DAB (ajuste quadrático). Para as demais avaliações, 120, 300 e 330 DAB, não foi observado diferença significativa entre os tratamentos (Figura 18), os quais apresentaram valores médios de 260,35, 227,00 e 241,48 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente.

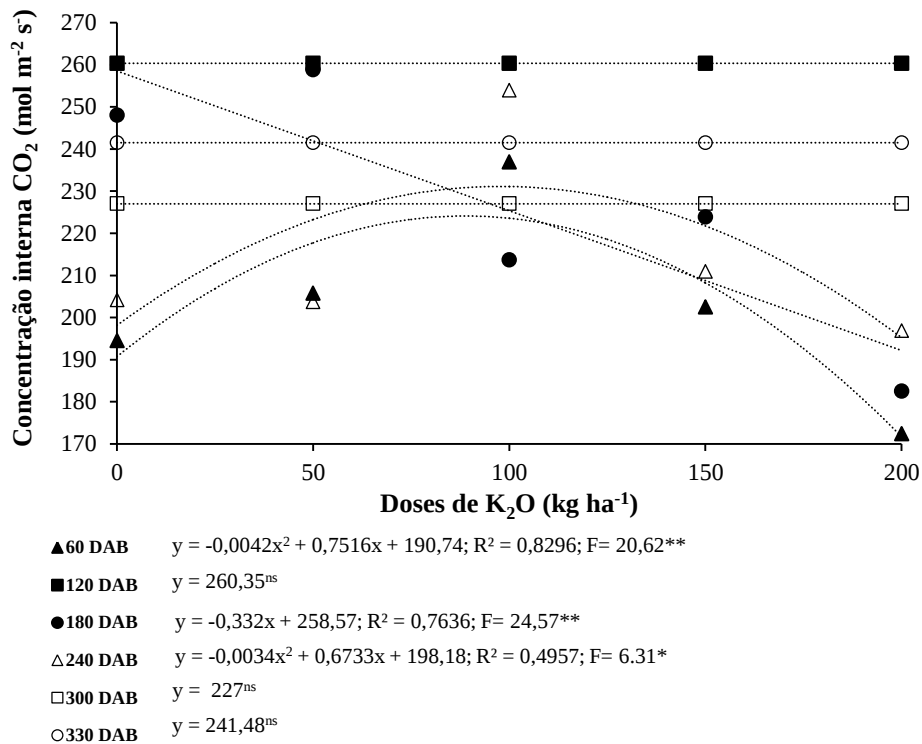


Figura 18. Concentração interna de CO₂ (Ci) em função de doses de K₂O aplicadas no solo para cultivo de cana-de-açúcar. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

À medida que as plantas necessitam abrir os estômatos para absorver CO₂ e, assim, realizar a fotossíntese, também ocorre perda de água para a atmosfera, através da transpiração (Boehring, 2010). Dessa maneira, transpiração e fotossíntese estão diretamente relacionadas. De acordo com Prado (2008), a participação do K no controle da abertura/fechamento dos estômatos também é importante na taxa de fotossíntese, uma vez que, plantas deficientes em K a abertura dos estômatos não ocorre de forma regular, diminuindo a entrada de CO₂. Assim, a aplicação de K pode aumentar a assimilação de CO₂ pelas folhas. Associado a isso, esse nutriente promove maior difusividade do CO₂ nas células do mesófilo e também ativa a carboxilase da RuBisCO (ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase), contribuindo para maior atividade fotossintética (Prado, 2008).

Ao avaliar a eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv Fm⁻¹) das plantas de cana-de-açúcar, variável que determina o índice de estresse das plantas (valor adimensional), não houve efeito significativo das doses de potássio para essa variável, em nenhum dos períodos avaliados, as quais apresentaram valores médios de 0,74, 0,70, 0,71,

0,74, 0,74 e 0,76 para avaliações realizadas aos 60, 120, 180, 240, 300 e 330 DAB, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Rendimento quântico máximo (Fv/Fm) em plantas de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de adubação potássica.

Doses de K ₂ O	Fv/Fm ¹	Fv/Fm ²	Fv/Fm ³	Fv/Fm ⁴	Fv/Fm ⁵	Fv/Fm ⁶
kg ha ⁻¹	----- ΦFSI -----					
0	0,74	0,71	0,71	0,73	0,75	0,77
50	0,74	0,68	0,71	0,75	0,74	0,76
100	0,74	0,71	0,71	0,73	0,75	0,77
150	0,74	0,67	0,72	0,74	0,74	0,75
200	0,74	0,71	0,72	0,74	0,73	0,77
Teste F	0,19 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,63 ^{ns}
C.V. (%)	2,04	3,94	3,45	3,09	2,1	2,57

(¹, ², ³, ⁴, ⁵ e ⁶ – avaliações realizadas aos 60, 120, 180, 240, 300 e 330 dias após a brotação da soqueira, respectivamente. ^{ns} – não-significativo à 5% de probabilidade pelo teste F).

De acordo com Corrêa & Alves (2010) se a planta estiver em condições normais, não estressantes, na maioria das espécies, o valor dessa variável pode variar de 0,75 a 0,85, sendo o declínio dessa relação um bom indicador de dano no aparato fotoquímico das plantas, quando essas estão sujeitas a estresses do ambiente.

Em relação ao estado nutricional em potássio da soqueira de cana-de-açúcar, a aplicação desse elemento no solo afetou o teor desse nutriente na planta apenas nas avaliações realizadas aos 120 e 300 DAB (Tabela 7), os quais apresentaram ajuste linear (Figura 19), atingindo 12,96 e 12,64 g kg⁻¹ com o uso da dose de 200 kg ha⁻¹ de K₂O. Esses valores correspondem a um incremento de 36,13 e 6,40%, respectivamente, em relação ao tratamento controle, sem adição de K. Para os demais períodos avaliados, não houve resposta dessa variável em função dos tratamentos, apresentando valores médios de 9,80, 11,78 e 12,28, para 60, 180, 240 e 300 DAB, respectivamente.

Nota-se que todos os tratamentos encontram-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura, entre 10 e 16 g kg⁻¹ de K (Spironello et al., 1997). O efeito linear pode ser atribuído ao incremento desse nutriente na região de absorção das raízes, facilitando a sua absorção e permitindo que a cultura seja adequadamente nutrida em potássio. Avaliando a influência da nutrição com potássio na primeira e segunda soqueira da cana-de-açúcar em sistema conservacionista, Flores et al. (2014) também encontraram

ajustes lineares (13,6 e 9,1 g kg⁻¹) à medida que se aumentava a dose de 0 a 195 kg K₂O ha⁻¹, respectivamente.

A ausência de diferença significativa na primeira avaliação pode ser atribuída ao déficit hídrico registrado desde a data de implantação do experimento (junho/2017) até a data da primeira avaliação (agosto 2017) (Figura 5). Nessas condições a absorção de potássio é bastante limitada, uma vez que, os principais mecanismos de absorção desse elemento se dão por difusão e fluxo de massa, sendo, portanto, necessário umidade no solo para que este íon chegue até as raízes (Marengo & Lopes, 2013). Já a avaliação realizada aos 240 e 300 DAB, a ausência de diferença entre os tratamentos pode estar relacionada à rápida taxa de liberação de K pela palhada da cana-de-açúcar, a qual contribui com quantidades significativas desse nutriente.

Tabela 7. Teor foliar de potássio em plantas de cana-de-açúcar submetidas a doses crescentes de adubação potássica.

Doses de K ₂ O kg ha ⁻¹	K foliar ¹	K foliar ²	K foliar ³	K foliar ⁴	K foliar ⁵
	-----g kg ⁻¹ -----				
0	8,96	9,52	10,62	12,16	11,88
50	10,00	10,86	11,46	12,52	12,86
100	9,92	11,70	12,48	11,92	12,06
150	9,76	12,16	12,30	11,90	13,36
200	10,36	12,96	12,06	12,92	12,64
Teste F	2,83 ^{ns}	3,39*	1,68 ^{ns}	2,41 ^{ns}	4,92**
C.V. (%)	7,03	13,96	11,06	5,10	4,83

(¹, ², ³, ⁴ e ⁵ – avaliações realizadas aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias após a brotação da soqueira, respectivamente. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente).

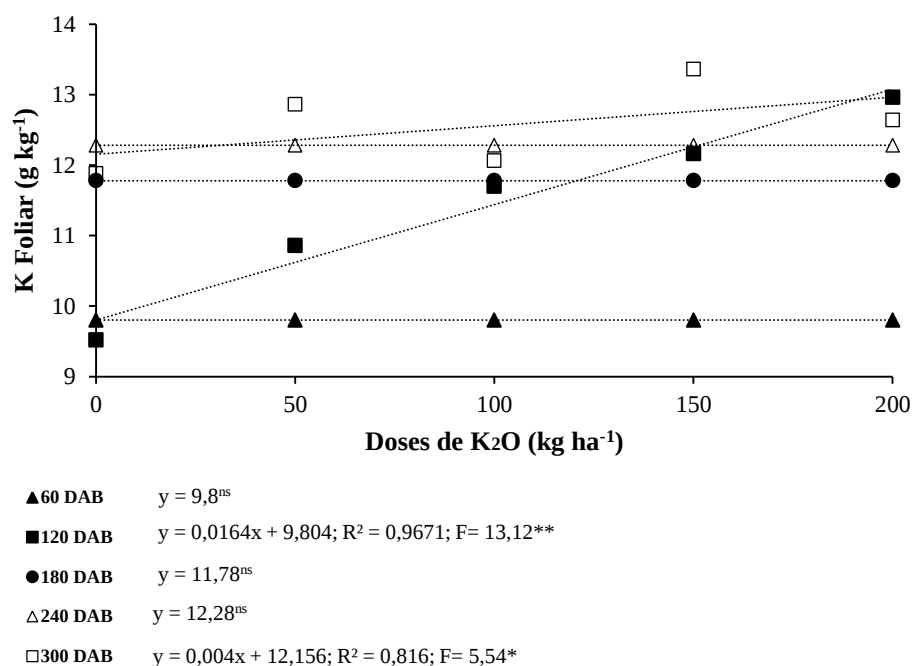


Figura 19. Teor de K na folha +1 aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias após a brotação da soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Em relação ao acúmulo de potássio pela soqueira de cana-de-açúcar, a adubação potássica afetou tanto o acúmulo do colmo, quanto do ponteiro (Tabela 8), promovendo incremento linear os quais atingiram 212,23 e 77,04 kg ha⁻¹ de K, respectivamente, com o uso da maior dose aplicada (Figura 20). Esse incremento representou um aumento no acúmulo de potássio nos colmo de aproximadamente 70%, em relação ao tratamento controle. Já para o acúmulo nas folhas, esse incremento correspondeu a 21,38% entre a maior e a menor dose.

Em estudos realizados por Flores et al. (2014), os autores observaram que, o aumento no fornecimento de K proporcionou incrementos significativos no acúmulo de potássio, sendo de 106,80 e 156,60% para o acúmulo nos colmos, 61,30 e 114,60% para o acúmulo nas folhas e 79,60 e 128,30% para o acúmulo na parte aérea, na primeira e na segunda soqueira de cana-de-açúcar, respectivamente.

Tabela 8. Produção de colmos e acúmulo de potássio nas folhas e colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo.

Doses de K ₂ O kg ha ⁻¹	Acúmulo de K kg ha ⁻¹		Produção de colmos t ha ⁻¹
	Folhas	Colmo	
0	63,47	124,76	110,80
50	63,13	127,04	115,00
100	75,28	178,27	128,67
150	76,81	181,55	134,31
200	77,04	212,23	135,40
Teste F	21,82 ^{**}	4,86 ^{**}	1,99 ^{ns}
C.V. (%)	8,69	23,32	14,34

^{ns} e ^{**} – não-significativo à 5%; e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

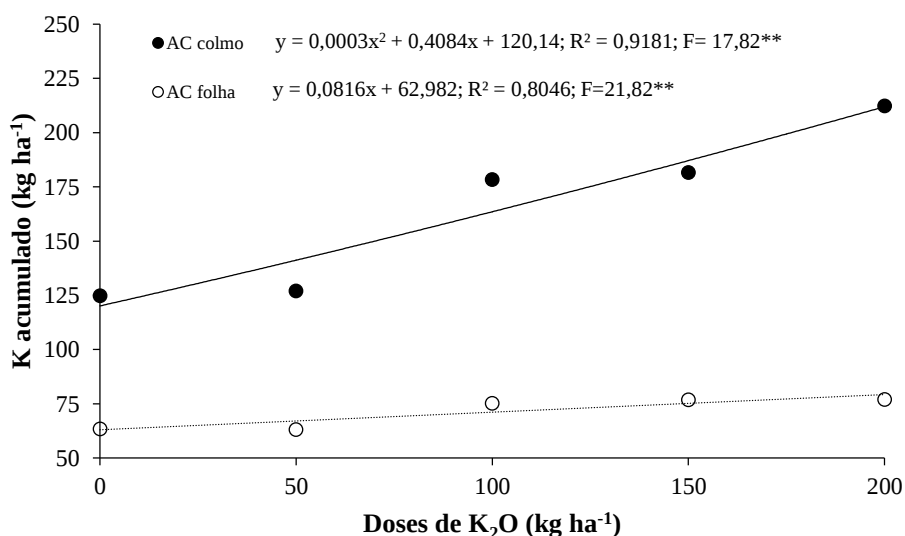


Figura 20. Acúmulo de potássio nas folhas e colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo. ^{**} – significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A produção de colmos da soqueira de cana-de-açúcar não foi influenciada pela aplicação de potássio no solo (Tabela 8). Apesar de não ter ocorrido efeito significativo pode-se perceber que, na dose de 200 kg ha⁻¹, a produtividade de colmos foi mais de 24 t ha⁻¹ superior, em relação à dose zero, ou seja, incremento de 22%. A produtividade média foi de 124,83 t ha⁻¹ de colmos.

Diversos trabalhos na literatura observaram incrementos na produtividade de colmos em função da aplicação de K-fertilizante (Otto et al., 2010; Almeida et al., 2015; Pancelli et al., 2015). Almeida et al. (2015) avaliando a resposta da segunda soqueira de

cana-de-açúcar, em função das doses de potássio em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico e em um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico, observaram que as doses de K aumentaram quadraticamente a produção de colmos da cana-de-açúcar em ambos os solos, em que as produções máximas puderam ser obtidas com as doses de 117 e 123 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

Almeida et al. (2015) atribuíram o efeito das doses de K-fertilizante, no acréscimo da produtividade de colmos, aos baixos teores de K-trocável observados na camada superficial do solo antes da implantação do experimento. De acordo com Rodella et al. (1983), o nível crítico de K no solo para obtenção de 90% da produtividade máxima da cultura é de 2,0 mmolc dm⁻³. Dessa maneira, os teores desse nutriente no solo no presente estudo apresenta valor equivalente ao nível crítico, justificando a ausência de diferença na produção de colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar. Somado a isso, tem-se a grande quantidade de K liberado pela palhada da cana-de-açúcar (79,25 kg ha⁻¹) assim como já comentado para outros atributos avaliados.

Em relação à qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, a aplicação de K-fertilizante não influenciou os parâmetros avaliados (Tabela 6), os quais apresentaram valores médios de: 18.07, 15.62, 0.68, 86.44, 10.61 e 73.24%, e 16.96 t ha⁻¹ para °Brix, Pol caldo, açúcares redutores (AR), pureza, fibra, umidade e açúcares totais recuperáveis (ATR), respectivamente.

Tabela 9. Qualidade tecnológica dos colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio no solo.

Doses de K ₂ O	Brix	P Caldo	AR	Pureza	Fibra	Umidade	ATR
kg ha ⁻¹	%						t ha ⁻¹
0	17,87	15,54	0,66	86,88	10,60	73,42	14,96
50	18,16	15,71	0,68	86,46	10,62	73,15	15,70
100	17,98	15,51	0,68	86,23	10,65	73,29	17,35
150	17,98	15,52	0,68	86,29	10,54	73,38	18,15
200	18,34	15,84	0,68	86,33	10,66	72,96	18,62
Teste F	0,26 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,17 ^{ns}
C.V. (%)	4,47	5,51	8,18	1,88	4,3	1,37	4,69

(^{ns} – não-significativo à 5% de probabilidade pelo teste F).

Em relação à qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar, Otto et al. (2010) observaram efeito das doses de K para a pureza e para os açúcares recuperáveis, que apresentaram regressão quadrática significativa, de modo diretamente proporcional às

doses para pureza, e inversamente proporcional, para o AR. Já, Almeida et al. (2015) encontraram efeito significativo das doses de potássio nos níveis de sólidos solúveis, trabalhando em um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico, e para os níveis de açúcares redutores totais trabalhando em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico. Nesse mesmo trabalho observaram aumento quadrático nos açúcares redutores e pureza do caldo com a variedade RB-855453 cultivada no primeiro solo. Assim como no presente estudo, Pancelli et al. (2015), não encontraram efeito significativo da aplicação de potássio para as variáveis tecnológicas: pureza, PC, Pol, AR, Fibra e Brix, as quais apresentaram valores médios de 90,6; 17,0; 20,0; 0,5; 12,00e 22,0%, respectivamente, bastante próximo aos valores encontrados neste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. O aumento da dose de fertilizante potássico intensifica o deslocamento do íon potássio até a camada de 0,80 m de profundidade em solos tropicais de textura argilosa.

2. O modelo exponencial estudado permite explicar o comportamento da decomposição e liberação de K da palhada de cana-de-açúcar, a qual sofreu uma redução média em peso de matéria seca de 49% durante um ciclo de 300 dias, nas condições do presente estudo. O K contido na palhada é rapidamente liberado, sendo necessário aproximadamente 70 dias para que metade do nutriente seja liberado.

3. O K exportado através dos colmos da cana-de-açúcar é um dos principais fatores responsáveis pela variação do balanço de K no solo. A dose que mais contribui para aumentar as reservas de K no solo é a aplicação anual de 150 kg ha^{-1} de K_2O .

4. As doses de K_2O estudadas, não influenciam o crescimento da primeira soqueira de cana-de-açúcar. No entanto, as variáveis fisiológicas: condutância estomática, transpiração e fotossíntese são significativamente responsivas à adubação potássica.

5. Em se tratando de um solo de textura argilosa com teor inicial de potássio médio, o maior aporte de K no solo em função dos tratamentos não resulta em diferença significativa na produtividade de colmos da cana-de-açúcar.

6. Como a cana-de-açúcar é uma cultura semi perene, normalmente conduzida durante cinco a seis cortes, é de grande relevância continuar com a condução da pesquisa ao longo do ciclo da cultura. Para estudos posteriores seria de grande relevância aprofundar a pesquisa à cerca do balanço de potássio, tentando quantificar a quantidade do nutriente que está sendo acumulado no sistema radicular da cultura.

6 REFERÊNCIAS

ALLÈGRE, A.; SILVESTRE, J.; MORARD, F.; KALLERHOFF, J.; PINELLI, E. Nitrate reductase regulation in tomato roots by exogenous nitrate: a possible role in tolerance to long-term root anoxia. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 408, p. 2625-2634.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, M. Utilização do palhico da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica na indústria sucroalcooleira. **Piracicaba Engenharia Sucroalcooleira**, 2009. Disponível em: <<http://piracicabaengenharia.com.br/2017/utilizacao-do-palhico-da-cana-de-acucar-para-geracao-de-energia-eletrica-na-industria-sucroalcooleira/>>. Acesso em: 23 out. 2018.

ALMEIDA, H. J. **Nutrição potássica em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima**. 2013. 79f. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

ALMEIDA, H. J.; CRUZ, F. J. R.; PANCELLI, M. A.; FLORES, R. A.; VASCONCELOS, R. L.; PRADO, R. M. 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.

ALTMANN, N. Adubação de sistemas integrados de produção em plantio direto: resultados práticos no Cerrado. **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, n. 140, p. 01-08, dez. 2012. Disponível em: <[http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/1BD4F8B7F3BD7A9E83257ADC005F0DFF/\\$FILE/IA140-Page1-8.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/1BD4F8B7F3BD7A9E83257ADC005F0DFF/$FILE/IA140-Page1-8.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2017.

ANDRIST-RANGEL, Y.; EDWARDS, A. C.; HILLIER, S., ÖBORN, I. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 4, p. 413-426, 2007.

AUOADA, F.A.; MOURA, M.R.; MENEZES, E.A.; NOGUEIRA, A.R.A.; MATTOSO, L.H.C. Síntese de hidrogéis e cinética de liberação de amônio e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1643-1649, 2008.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 7-8, p. 921-950, may. 2001.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO-JÚNIOR, W. **Experimentação agrônômica e agroestat**: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Unesp, 2015. 396 p.

BARBOSA FLHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetros portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1843-1848, 2008.

BENEDETTI, MM. **Palhada de cana-de-açúcar em condições de cerrado: decomposição e disponibilidade de nutrientes**. 2014. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

BENITES, V.M.; CARVALHO, M.C.S.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C.; BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. 2. ed. Piracicaba: IPNI, 2010. p.133-204.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 485-494, 2004.

BIDOIA, M.A.P.; BIDOIA, M.A.P. Experimentação com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.) **Cana-de-açúcar**. 1 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 809-819.

BOEHRINGER, D. **Determinação da transpiração da cana-de-açúcar por métodos térmicos**. 2010. 144p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; FARIAS, J. R. B.; TUTIDA, F.; SPOLADORI, C. L. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo eutrófico. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 32, n. 10, p.1009-1022, 1997.

BRITO, A. S. **Balanço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2006. 82f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Faculdade de Agronomia - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, 2006.

CAETANO, J. M.; CASAROLI, D. Sugarcane yield estimation for climatic conditions in the center of state of Goiás. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 3, p. 298-306, 2017.

CAIONE, G.; SILVA, A. F.; REIS, L. L.; DALCHIAVON, F. C.; TEIXEIRA, M. T. R.; SANTOS, P. A. Doses de potássio em cobertura na primeira soca da cultura da cana-de-açúcar cultivada no norte mato-grossense. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 572-580, 2011.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, J. T. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (Coord). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346p.

CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 01, p. 99-108, 2005.

CAMARGO, M. S.; VITTI, A. C. Produção de palhada e colmos de variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa e Tecnologia/Apta Regional, Campinas**, v. 11, n. 1, 2014.

CASAGRANDE, A. A. Crescimento da cana-de-açúcar. **Stab-Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 7-8, 1996.

CASTELÕES, L. **Embrapa pesquisa cana-de-açúcar em área de expansão no Cerrado**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2454148/embrapa-pesquisa-cana-de-acucar-em-area-de-expansao-no-cerrado#>>
Acesso em: 24 abr 2018.

CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 04, p. 977-982, 2002.

CLIMATE-DATA.ORG (Brasil). **Clima:** Bom Jesus de Goiás, 2018. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/43434/>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileiro – cana-de-açúcar:** Quarto levantamento, abril 2018 – safra 2017/2018. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2018.

CONSECANA-SP - Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: 2006. 111 p. Disponível em: <<http://www.aprovalefrutal.org.br/imagens/manual.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

CORRÊA, M. J. P.; ALVES, P. C. A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1136-1145, 2010.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L.I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. 2. ed. Piracicaba: IPNI. 2010. p.309-351.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 29-34, 2002.

DOBERMANN, A.; CRUZ, P. C. S.; CASSMAN, K. G. Fertilizer inputs, nutriente balance, and soil nutriente-supplyng power in intensive, irrigated rice systems. I, Potassium uptake and K balance. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 1-10, 1996.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigacao e Drenagem, 33). Tradução de H. R. Gheyi; A. A. de Sousa; F. A. V. Damasceno; J. F. de Medeiros.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Piracicaba, 1975, 344p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 1, cap. 9, p.551-594.

FERREIRA, E. O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M. H.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 161-169, jan./fev. 2011.

FLORES, R. A.; PRADO, R. M.; POLITI, L. S.; ALMEIDA, T. B. F. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 106-111, 2012.

FLORES, R. A.; PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A.; ALMEIDA, H. J.; MODA, L. R.; BORGES, B. M. M. N.; SOUZA JUNIOR, J. P. Potassium nutrition in the first and second ratoon sugarcane grown in na Oxisol by a conservationist system. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 74, p. 83-88, 2014.

FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. CAIONE, G. Manejo do potássio na região de Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P.(Eds.). **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: Gráfica UFG, 2016. v. 1, cap. 10, p.359-409.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. **Biomass and bioenergy**, Oxford, v. 42, p. 189-198, 2012.

FURTINE NETO, A. E. F.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEP, 2001. 261p.

GAVA, G. J.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 250-255, 2011.

GODOY, L. J. G.; BÔAS, R. L. V.; GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetros e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 373-380, 2003.

GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. S.; BÔAS, R. L. V.; LEITE JÚNIOR, J. B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 217-226, 2008.

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 675-680, 1999.

GOMMERS, A.; THIRY, Y.; DELVAUX, B. Rhizospheric mobilization and plant uptake of radiocesium from weathered soils: I. Influence of potassium depletion. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, n. 6, p. 2167-2173, Nov. 2005.

GUSTAFSON, G. M.; SALOMON, E.; JONSSON, S. Barn balance calculations of Ca, Cu, K, Mg, Mn, N, P, S and Zn in a conventional and organic dairy farm in Sweden. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 119, n. 1-2, p.160-170, 2006.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 01, n. 02, p. 96-99, 1985.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **Stab-Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 32-34, 1999.

IAC. **Programa Cana**. 2012. Disponível em: <http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/2012-10-31-08-38-CatalogodeVariedadesIAC.pdf>. Acesso em: 21 set. 2018.

IMAS, P. Recent trends in nutrition management in horticultural crops. In: IPI-PRII-KKV Workshop, 1999, Dapoli. **Proceedings...** Dapoli, 1999.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. **Water relations in sugarcane and response to water deficits**. Field Crops Research 92, 2005. p. 185-202.

INTERNATIONAL Fertilizer Association – IFA. IFADATA. Paris: IFA; 2017. Disponível em: <https://>

<www.fertilizer.org/En/Etatistics/Statistics_Databases/En/Statistica/Satistics.aspx?hkey=c1225c13-d355-48c7-a646-31acd4c22480>. Acesso em: 21 set 2018.

IVO, W. M. P. M.; SILVA, E. F.; SILVA, P. A.; SANTOS, A. K. B.; AMARAL, A. C.; SANTIAGO, A. D. Produção e decomposição de palhada em área de cultivo de cana-de-açúcar, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Resumos...**Natal: SBCS, 2015. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1029636>>. Acesso em: 09 out. 2018.

KOFFLER, N. F.; DONZELI, P. L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap. I, p. 19-35.

KORNDÖRFER, G.H.; OLIVEIRA, L.A. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.) **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. p. 469-490.

LINDHAUER, M.G. The role of potassium in the plant with emphasis on stress conditions (water, temperature, salinity). In: **Proceedings of the Potassium Symposium**. Departamento of Agriculture and Water Supply, International Potash Institute and Fertilizer Society of South Africa. Pretoria: 1985, p. 95-113.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1575-1582, 2009.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; TSUIOSHI, Y.

Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 113-118.
MALAVOLTA, E. **Potássio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. Piracicaba, Potafos, 1982. (Boletim Técnico, 4).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201p.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. **Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.17, n.2, p.232–239, 2013.

MARRENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2013. 486 p. Inclui índice. ISBN 978-85-7269-359-2.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, England, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.281-298.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: UFV, 2006. p. 281-298.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**, Piracicaba: Potafos, 2005, p.165-178.

MOLIN, J. P.; FARIA, T. F. **Uso de clorofilômetros em cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 2010.

MONTEIRO, L. A. **Modelagem agrometeorológica como base para a definição de ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciência: Física do Ambiente Agrícola)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

NEVES, L.S.; ERNANI, P.R.; SIMONETE, M.A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.25-32, jan./fev. 2009.

OENEMA, O.; KROS, H.; DE VRIES, W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: Implications for nutrient management and environmental policies. **European Journal of Agronomy**, v. 20. p. 316, 2003.

OLIVEIRA, M. W. D.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. D. C.; PENATTI, C. P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999a.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999b.

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

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010a.

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

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

PANCELLI, M. A.; PRADO, R. M.; FLORES, R. A.; ALMEIDA, H. J.; MODA, L. R.; JUNIOR, J. P. S. Growth, yield and nutrition of sugarcane ratoon as affected by potassium in a mechanized harvesting system. **Australian Journal of Crop Science**. v. 9, n. 10, p. 915-924, 2015.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego, Academic Press, 1989. 275p.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; CABALLERO, S. S. U.; GUERRA, J. G. M.; GUSMÃO, L. A. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalaria e milheto solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 274-281, 2010.

POTRICH, D. C.; MARCHETTI, M. E.; POTRICH, D. C.; ENSINAS, S. C.; SERRA, A. P.; SILVA, E. F.; SOUZA, N. H. Decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar

submetidos a diferentes doses de nitrogênio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1751-1760, 2014.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p. Inclui bibliografia. ISBN 978-85-7139-676-0.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Org). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.

RAMOS, N. P.; YAMAGUCHI, C. S.; PIRES, A. M. M.; ROSSETTO, R.; POSSENTI, R. A.; PACKER, A. P.; CABRAL, O. M. R.; ANDRADE, C. A. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1492-1500, 2016.

REIS JUNIOR, R. A. Probabilidade de resposta da cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação K^+ ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$) -0,5 do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1175-1183, set. 2001.

ROBERTO, G. G. **Fisiologia da maturação de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): sinalização e controle do metabolismo de produção e armazenamento de sacarose**. 2015. 63p. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical com área de concentração em Tecnologia da Produção Agrícola). Instituto Agronômico. Campinas, 2015.

RODELLA, A. A.; ZAMBELO JUNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Calibração das análises de fósforo e potássio do solo em cana-de-açúcar – 2ª aproximação. **Saccharum STAB**, São Paulo, v. 28, p. 39- 42, 1983.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 9, p. 1045-1054, 1993.

ROSOLEM, C. A. **Adubação Potássica em Semeadura Direta**. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO. 1997, Dourados. EMBRAPA: Resumos e Palestras. Dourados, 1997. 12 p.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, maio 2006.

SANTOS, D. B. M.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J. Balanço do Potássio em Solo do Cerrado no Sistema Plantio Direto. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9., 2008. Brasília. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

SANTOS, A. P. G.; SOUZA, Z. M.; CARVALHO, J. L. N.; SOUSA, A. C. M.; FARHATE, C. V.; TORRES, J. L. R. Constante de decomposição (k) e tempo de meia vida dos resíduos culturais de cana-de-açúcar em diferentes condições edafoclimáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Resumos...**Natal: SBCS, 2015.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. 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**, Viçosa, v.34, p.811-820, 2010.

SEGATTO, C.; CONTE, R.; LAJÚS, C. R.; DA LUZ, G. L. Relação da leitura do clorofilômetros com o rendimento da cultura do milho em diferentes níveis de suprimento de nitrogênio. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 1, p. 253-259, 2017.

SILVA, T.R.B.; SORATTO, R.P.; OZEKI, M.; ARF, O. Manejo da época de aplicação potássica em arroz de terras altas irrigado por aspersão em solo de cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p.1455-1460, 2002.

SILVA, F. C. **Manual de análises, químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p. ISBN 978-85-7383-430-7.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; COELHO, D. S.; SOUZA, M. A.; LIMA, J. A. Resposta de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 11-20, 2015.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. **The response of sugarcane canopy development to water stress**. Field Crops Research. 98, 2006. p. 91-97.

SMITH, J.H. & DOUGLAS, C.L. Wheat straw decomposition in the field. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 35, p. 269-272, 1971.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A. **Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: experiências no Cerrado**. Piracicaba: IPNI, 2009. 7p. (Informações Agronômicas, 126).

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistema de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. V.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L. M.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETO, R. Outras Culturas Industriais. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Org). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p. 237-239.

STANCATTE, R. S.; RAMOS, R.; MORAES, G. C.; ROSSI, P.; BARROS, H.; ROSSETTO, R.; PACKER, A. P. C.; RAMOS, N, P. Decomposição de palha de cana-de-açúcar em cultivo de primeira soca – Itacemópolis – SP. In: WORKSHOP AGROENERGIA, 9.; 2015, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: APTA: IAC, 2015. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1035597>>. Acesso em: 09 out. 2018.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science and Society of America, Proceedings**, Madison, v. 36, n. 3, p. 465-472, 1972.

STANFORD, G.; FRERE, M. H.; SCHWANINGER, D. H. Temperature coeficiente of soil nitrogen mineralization. **Soil Science**, v. 115, p. 321-323, 1973.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M. Phosphorus and potassium balance in soil under crop rotation and fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2173-2186, 2012.

STEINER, F. **Balanço de potássio no sistema solo-planta influenciados pela textura e adubação potássica em solos tropicais**. 2014. 93f. Tese (Doutorado em Agronomia: Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.2, p.229-235, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artimed, 2004. 719 p. ISBN 85-363-0291-7.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim técnico de solos, 5).

THOMPSON, G. D. Water use by sugarcane. **South Africa Sugarcane Journal**. v.60, n.11, p. 592-600, 1976.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 1955. 104 p.

UCHÔA, S. C. P.; ALVES JÚNIOR, H. O.; ALVES, J. M. A.; MELO, V. F.; FERREIRA, G. B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista. Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-513, outubro, 2009.

UCKER, F. E.; DE-CAMPOS, A. B.; HERNANI, L. C.; MACÊDO, J. R.; MELO, A. S. Movimentação do íon potássio em Neossolos Quartzarênicos sob cultivo com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p.1548-1556, 2016.

VIANA, E. M. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. 2007. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quieroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G.; SILVA, J. E. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.169-183.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M. O.; TOVAJAR, J. G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 32, nº. especial 1, p. 2757-2762, 2008.

VOGEL, G. F.; MARTINKOSKI, L.; GRILLO, J. F.; MICHALOVICZ, L.; FEY, R. Avaliação dos penetrômetros de impacto e eletrônico na determinação da resistência mecânica a penetração do solo. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 30-36, 2017.

WEBER, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; IDO, O.T.; BARELA, J.D. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar com adubação NPK. **Scientia Agraria**, Paraná, v. 2, p. 73-77, 2002.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

WU, L.; LIU, M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. **Carbohydrate Polymers**, England, v.72, n.2, p.240-247, 2008.