



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TERMOPOTÁSSIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RAFAEL TADEU DE ASSIS

UBERLÂNDIA-MG

2018

RAFAEL TADEU DE ASSIS

TERMOPOTÁSSIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador
Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

UBERLÂNDIA-MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A848t Assis, Rafael Tadeu de, 1983
2018 Termopotássio na cultura da cana-de-açúcar / Rafael Tadeu de Assis.
- 2018.
103 p. : il.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Agronomia.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.472>

Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Cana-de-açúcar - Adubação - Teses. 3.
Potássio na agricultura - Teses. 4. Adubação - Teses. I. Korndörfer,
Gaspar Henrique, 1953- II. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

RAFAEL TADEU DE ASSIS

TERMOPOTÁSSIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 24 de março de 2018.

Profª Drª Lucelia Alves Ramos.....UFU
Profª Drª Adriane de Andrade Silva UFU
Drª Ivaniele Nahas Duarte.....SMMA – Catalão-GO
Prof. Dr. Fabio Teixeira LucasIFTM - UBERABA

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA-MG
2018

A Deus,
Pela vida, saúde e paz.

Aos meus pais, Eloiza e Sebastião,
Pela minha educação, formação humana
e por serem exemplos de coragem, sabedoria e fé.

Minha querida e amada esposa Nara,
companheira em todos os projetos,
Pelo amor, desprendimento e total dedicação

As minhas irmãs Josiane e Aline,
Pelo fraterno convívio e estímulo ao longo da vida.

Aos sobrinhos Daniel, Gustavo e Beatriz,
ver vocês crescendo mantem acesa a esperança no futuro

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, acima de tudo, por proporcionar o dom da vida e iluminar e me guiar nos caminhos nem sempre fáceis de serem trilhados;

A Universidade Federal de Uberlândia, por meio dos seus professores e funcionários, pela oportunidade de crescimento profissional e pelo apoio técnico, científico e material em todas as fases do curso;

Agradeço ao meu orientador, professor Gaspar Korndörfer, pelo exemplo profissional, ensinamentos, competência e integridade;

Aos professores da pós-graduação, pela amizade e por todos os conhecimentos transmitidos, que contribuíram para a minha formação;

Aos amigos Ernane, Jorge, Fausto, Fernando, Leonardo e companheiros de jornada que sempre estiveram juntos comigo nesta caminhada;

Agradeço ao Centro Universitario do planalto de Araxá - UNIARAXÁ, por ter me concedido a possibilidade de realizar este grande projeto pessoal. Pela compreensão dos colegas professores que muitas vezes tiveram de reajustar seus horários para que eu pudesse ir para Uberlândia e realizar o sonho do curso de doutorado;

Agradeço também a FAZU - Faculdades Associadas de Uberaba, que por meio da coordenação, primeiro com o prof. Fausto Domingos, depois com o prof. Alex Moretini, e por fim, com o prof. Diego Fraga, que sempre me incentivaram e permitiram que eu estivesse sempre disponível para realizar minhas obrigações no doutorado;

Ao grande amigo Jose Carlos da Silva, que sempre teve palavras de tranquilidade, mesmo nos momentos mais complicados, fazendo com que eu sempre escolhesse o caminho correto e me tornasse uma pessoa melhor;

Ao amigo Dawson José, que me abriu as portas de sua casa logo no inicio desta caminhada, sendo sempre um companheiro leal e grande amigo.

Aos colegas professores, Arejacy Silva, Alex Moretini, Carlos Eugênio, Daniel Leal, Diego Fraga, Diogo Aristóteles, Edson Komori, Fernando Lopes, Francis Ferreira, Francisc Silva, Guilherme Roldão, Hélio Alcântara, Jorge Junek, José Carlos, Paulo Fravet, Paulo leite, Ricardo Mendonça, Tony Márcio, Vinícius Maciel. Pelo ótimo convívio e momentos de descontração.

Aos companheiros do Rotary Club Araxá Norte, pelo convívio e aprendizado além das trocas de experiências, nunca me deixando esquecer que *"Mais se beneficia quem melhor serve"*

A doutora Lucélia Ramos, pela correção e pela atenção, sempre dedicada e disposta a ajudar;

A professora Regina M. Q. Lana, pela grande atenção e conselhos durante todo o curso

Aos professores Lucelia Ramos, Adriane Silva, Ivaniele Duarte, Fabio Teixeira, todos se prontificaram a participar da banca, pelas correções e sugestões;

Aos bons amigos e familiares que sempre torceram por mim, me incentivaram e mantiveram suas palavras de carinho mesmo nos momentos mais difíceis desta caminhada;

Aos amigos, os quais deixo de citar nominalmente por, graças a Deus, serem muitos, ótimos e bons, mas que tenho certeza que sabem o quanto foram, são e sempre serão importantes para mim;

Certamente minhas palavras não vão conseguir expressar todo o meu sentimento de carinho e agradecimento a todos que me ajudaram nesta caminhada. Foram muitas as pessoas que me estenderam a mão e me ajudaram das mais distintas maneiras, desde meus amigos pessoais, meus amigos professores, os colegas de classe, técnicos e funcionários, todos me ensinaram detalhes da vida que não se aprendem dentro da sala de aula.

A todos vocês o meu mais sincero MUITO OBRIGADO!

**Senhor Deus, hoje eu não quero pedir nada,
porque eu já pedi tanto e tanta coisa me foi dada.**

Eu só quero agradecer: muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO – 1.....	4
1 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
1.1 A cana-de-açúcar.....	4
1.2 Disponibilidade do potássio nas plantas.....	6
1.3 O potássio no solo.....	7
1.4 Fontes de potássio	8
1.5 Nutrição potássica na cana-de-açúcar	9
1.6 Suprimento de potássio pela palhada	11
2 Fontes alternativas de potássio	12
2.1 Termopotássio	12
2.1.1 Vantagens do termopotássio	13
REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO DE TERMOPOTÁSSIO NA CULTURA DA CANA- DE-AÇÚCAR (CANA-PLANTA)	20
RESUMO	20
ABSTRACT	21
1 INTRODUÇÃO	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1 Caracterização das fontes de potássio	24
2.2 Condução dos experimentos	25
2.2.1 Características do Local 1.....	26
2.2.1.1 Instalação e tratamentos	26
2.2.1.2 Avaliações e colheita	27
2.2.2 Características do Local 2	29
2.2.2.1 Instalação e tratamentos	29
2.2.2.2 Avaliações e colheita	30
2.2.3 Características do Local 3	31
2.2.3.1 Instalação e tratamentos	32
2.2.3.2 Avaliações e colheita	32

2.3 Análises das amostras	34
2.3.1 Análise foliar	34
2.3.2 Análise de solo	34
2.3.3 Análise tecnológica	34
2.4 Análise estatística	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1 Comparações entre todos os tratamentos	38
3.1.1 Local 1	39
3.1.2 Local 2	40
3.1.3 Local 3	43
3.2 Comparações entre as doses de termopotássio	44
3.2.1 Local 1	46
3.2.2 Local 2	49
3.2.3 Local 3	53
CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	56

CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DE TERMOPOTÁSSIO NA CULTURA DA CANA- DE-AÇÚCAR (CANA-SOCA)	60
RESUMO	60
ABSTRACT	61
1 INTRODUÇÃO	62
2 MATERIAL E MÉTODOS	63
2.1 Caracterização das fontes de potássio	63
2.1.1 Termopotássio	63
2.2 Condução dos experimentos	65
2.2.1 Características do Local 1.....	65
2.2.1.1 Instalação e tratamentos	65
2.2.1.2 Avaliações e colheita	66
2.2.2 Características do Local 2	68
2.2.2.1 Instalação e tratamentos	68
2.2.2.2 Avaliações e colheita	68
2.2.3 Características do Local 3	69
2.2.3.1 Instalação e tratamentos	69

2.2.3.2 Avaliações e colheita	70
2.3 Análises das amostras	71
2.3.1 Análise foliar	71
2.3.2 Análise de solo	71
2.3.3 Análise tecnológica	71
2.4 Análise estatística	73
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.1 Comparações entre todos os tratamentos	75
3.1.1 Local 1	76
3.1.2 Local 2	77
3.1.3 Local 3	78
3.2 Comparações entre as doses de termopotássio	80
3.2.1 Local 1	81
3.2.2 Local 2	82
3.2.3 Local 3	84
CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aplicação dos tratamentos em cana-planta. Local 1. (Foto: Ramos, 2014)	24
Figura 2. Pesagem da cana colhida manualmente. Local 1. (Foto: Ramos, 2015)	25
Figura 3. Aplicação dos tratamentos e plantio da cana-planta. Local 2. (Foto: Ramos, 2014)	27
Figura 4. Colheita e pesagem da cana. Local 2. (Foto: Ramos, 2015)	28
Figura 5. Aplicação dos tratamentos em cana-planta – Usina Junqueira- Raízen. (Foto: Ramos, 2015)	29
Figura 6. Pesagem da cana colhida manualmente. Local 3. (Foto: Ramos, 2016)	30
Figura 7. Teores de açúcares redutores em cana de açúcar na Usina 1 (cana-planta)	43
Figura 8. Teores de silício e potássio no solo entre 0 e 20 cm e fósforo no solo entre 20 e 40 cm no Local 1 (cana-planta)	44
Figura 9. Produção de colmos e de açúcar de cana de açúcar no Local 2 (cana-planta) ...	46
Figura 10. Teores de silício, cálcio e potássio entre 0 a 20 e entre 20 a 40 cm no solo, e fósforo entre 20 a 40 cm no Local 2 (cana-planta)	48
Figura 11: pH da solução do solo de 0 a 20 cm (2:1) no Local 2 (cana planta)	49
Figura 12. Aplicação dos tratamentos em cana-soca. Local 1. (Foto: Ramos, 2014)	64
Figura 13. Colheita mecanizada da cana (imagem superior) e balança acoplada ao “caminhão balança” (imagem inferior). Local 1. (Foto: Ramos, 2015)	65
Figura 14. Aplicação dos tratamentos em cana-soca. Local 3. (Foto: Ramos, 2015)	68
Figura 15. Teores de nitrogênio foliar em cana-de-açúcar no Local 1 (cana-soca)	79
Figura 16. Teores de fósforo no solo entre 20 e 40 cm no Local 2 (cana-soca)	82
Figura 17. Teores de silício, cálcio, fósforo e potássio no solo no Local 3 (cana-soca) ...	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidades de macronutrientes fornecidos pela palhada de cana-de-açúcar.....	11
Tabela 2. Caracterização química do Verdete utilizado para a fabricação do TK47.....	20
Tabela 3. Caracterização física e química do cloreto de potássio (KCl) e do termopotássio (TK47)	21
Tabela 4 - Descrição dos tratamentos aplicados à ao solo, no plantio da cana-de-açúcar.....	21
Tabela 5. Caracterização química do solo utilizado no experimento do Local 1.....	22
Tabela 6. Caracterização química do solo utilizado no experimento no Local 2 (análise de solo fornecida pela usina)	25
Tabela 7. Caracterização química do solo utilizado no experimento na região de Igarapava –SP (análise de solo fornecida pela usina)	28
Tabela 8. Teste de <i>F</i> e sua significância da ANAVA entre todos os tratamentos (doses de TK47 e de KCl) em cana-planta.....	34
Tabela 9. Avaliação de médias dos tratamentos (níveis de TK47 ou KCl) que diferiram na ANAVA ($p < 0,05$) no Local 1 (cana-planta)	35
Tabela 10. Avaliação de média dos tratamentos (níveis de TK47 ou KCl) que diferiram na ANAVA ($p < 0,05$) no Local 2 (cana-planta)	37
Tabela 11. Avaliação de média dos tratamentos (níveis de TK47 ou KCl) que diferiram na ANAVA ($p < 0,05$) no Local 2 (cana-planta)	38
Tabela 12. Brix dos tratamentos (níveis de TK47 ou KCl) no Local 3 (cana-planta)	40
Tabela 13. Teste de <i>F</i> da ANAVA entre todas as doses de TK47 em cana-planta calculado como delineamento de blocos casualizados	41
Tabela 14. Avaliação da concentração de P na camada superior de solo no Local 2(cana-planta)	47
Tabela 15. Avaliação de média dos tratamentos com TK47 que não adequaram regressão polinomial ($p < 0,05$ e $R^2 \geq 0,7$) no Local 3 (cana-planta)	47
Tabela 16. Caracterização química do Verdete utilizado para a fabricação do TK47.....	56
Tabela 17. Caracterização dos atributos físicos e químicos do cloreto de potássio (KCl) e do termopotássio (TK47)	57

Tabela 18 - Descrição dos tratamentos aplicados à cana-de-açúcar (cana-soca)	57
Tabela 19. Caracterização química do solo utilizado no experimento do Local 1 (análise de solo fornecida pela usina)	58
Tabela 20. Caracterização química do solo utilizado no experimento na região de Igarapava-SP (análise de solo fornecida pela usina)	62
Tabela 21. Teste de <i>F</i> e sua significância da ANAVA entre todos os tratamentos (doses de TK47 e de KCl) em cana-soca.....	68
Tabela 22. Avaliação de médias de nitrogênio foliar, cálcio e magnésio trocável no solo para todos os tratamentos (doses de TK47 ou KCl) no Local 1 (cana-soca)	69
Tabela 23. Avaliação de médias de nitrogênio foliar, fósforo e potássio trocável no solo para todos os tratamentos (doses de TK47 ou KCl) no Local 2 (cana-soca)	70
Tabela 24. Avaliação de médias de pH e silício trocável no solo para todos os tratamentos (doses de TK47 ou KCl) no Local 3 (cana-soca)	71
Tabela 25. Avaliação de médias de cálcio, fósforo e potássio trocável no solo para todos os tratamentos (doses de TK47 ou KCl) no Local 3 (cana-soca)	72
Tabela 26. Teste de <i>F</i> da ANAVA entre todas as doses de TK47 em cana-soca calculado como delineamento de blocos casualizados.....	74
Tabela 27. Avaliação de médias de magnésio foliar, e cálcio e magnésio trocável no solo para as doses de TK47 no Local 1 (cana-soca)	75
Tabela 28. Avaliação de médias de nitrogênio foliar, potássio e fósforo trocável no solo para as doses de TK47 no Local 2 (cana-soca)	77

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é atualmente o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo esta cultura de grande importância para o agronegócio brasileiro. O aumento da demanda mundial por etanol oriundo de fontes renováveis, aliado às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar, tornam o Brasil um país promissor para a produção e a exportação dos produtos dessa cultura.

Para obtenção de altas produtividades na cana-de-açúcar, todas as tecnologias disponíveis e relativas à condução da cultura devem ser empregadas (ORLANDO FILHO et al., 1996). Dentre essas tecnologias, a adubação assume importante papel para o aumento da produtividade (ZAMBELLO JÚNIOR et al., 1981), principalmente naqueles solos de comprovada carência de nutrientes. Com a expansão da cultura canavieira e a incorporação de novas áreas, na sua maioria, para solos ácidos e pobres em nutrientes essenciais como o potássio, é de fundamental importância conhecer profundamente as interações do sistema solo planta a fim de recuperar e manter a fertilidade para alcançar produções economicamente viáveis (FELIPE, 2008).

O potássio desempenha uma função importante na ativação de enzimas que atuam em diversos processos metabólicos tais como, fotossíntese, controle osmótico, síntese de proteínas e carboidratos, além de promover a reciclagem dos nutrientes necessários ao crescimento das plantas (NASCIMENTO & LOUREIRO, 2009).

Dentre os fertilizantes potássicos existentes, o mais produzido e o mais consumido pela agricultura mundial é o cloreto de potássio (KCl). A adubação com KCl na cultura da cana-de-açúcar é utilizada pela maioria dos produtores, principalmente nas áreas mais afastadas da usina/destilaria, onde a fertirrigação é inviável economicamente, ou quando o volume de vinhaça produzido é insuficiente (KORNDÖRFER et al., 1999). Desta maneira, para diminuir a dependência da agricultura brasileira por fertilizantes potássicos importados, o país busca fontes alternativas, principalmente aquelas ligadas ao aproveitamento de rochas potássicas de baixa solubilidade natural que podem ser extraídas e produzidas, em abundância, no território brasileiro.

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes potássicos, apresentando dependência de importação em torno de 90% e uma demanda que cresce anualmente (ANDA, 2015). A mineração de K em reservas brasileiras é irrisória perto da demanda pelo nutriente, sendo feita principalmente no estado de Sergipe, em minas com silvita e carnalita. Por isso a produção brasileira de fertilizantes potássicos supre apenas uma

pequena parcela da demanda interna, por volta de 10%, sendo necessária a importação do restante do fertilizante potássico consumido no país (IBRAM, 2010).

Em Minas Gerais, por exemplo, existem reservas de rochas silicatadas, como o verdete, encontrado na região do Alto Paranaíba. Essa rocha apresenta na sua composição química, minerais potássicos de baixa solubilidade em água e que contém de 7 a 14% K_2O . Além do potássio, essa rocha apresenta outros nutrientes como o cálcio, o magnésio e o silício (PIZA et al., 2011). Para aumentar a solubilidade dos minerais contidos no verdete, o mesmo passa por um processo de calcinação industrial, originando assim a fonte denominada termopotássio.

Diante do exposto, este trabalho visa compreender melhor os efeitos da adubação com diferentes fontes de potássio e determinar a melhor dose do termopotássio a ser usada em comparação com modelos tradicionais de fornecimento deste nutriente via KCl. Além disso, verificar as alterações qualitativas dos principais atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, de acordo com as diferentes doses e fontes de adubação potássica.

Nesse contexto, podem-se formular as seguintes hipóteses:

(i) O termopotássio é capaz de fornecer adequadamente o potássio requerido pela cana-de-açúcar e desta forma manter o padrão produtivo da cultura.

(ii) As doses crescentes de termopotássio podem influenciar positivamente os aspectos produtivos da cana-de-açúcar.

(iii) Devido a sua solubilidade gradativa o termopotássio pode disponibilizar o potássio em diferentes épocas para a cultura e desta forma favorecer a produção da cana-de-açúcar.

(iv) Devido a sua composição, o termopotássio poderá corrigir o pH do solo facilitando a disponibilidade de outros nutrientes.

Com base nessas hipóteses, objetivou-se com este trabalho de tese:

a) Avaliar o termopotássio na produtividade e atributos tecnológicos da cana, comparada à fonte convencional (KCl);

b) Avaliar a aplicação de doses de K_2O na cana planta e cana soca com o termopotássio e seus efeitos na produtividade.

c) Avaliar o efeito residual do termopotássio, após a colheita, em comparação com o manejo convencional (KCl), nos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e teores no solo de potássio, cálcio, magnésio, silício e fósforo.

Com base nesses objetivos, foram desenvolvidos dois estudos distintos, um conduzido em área de cana-planta e outro em cana-soca, implantando 6 experimentos,

sendo 3 experimentos em cana-planta e 3 experimentos em cana-soca, todos conduzidos em áreas comerciais de usinas sucroalcooleiras nos estados de São Paulo e Goiás.

Os dois estudos de campo realizados nesta tese serão apresentados a seguir na forma de capítulos. O primeiro capítulo é uma revisão de literatura sobre o tema que será abordado, o segundo capítulo trata do efeito do termopotássio na produtividade da cana planta, e o terceiro capítulo trata do efeito do termopotássio na produtividade da cana soca.

CAPÍTULO – 1

1- REVISÃO DA LITERATURA

1.1 A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é originária do sudeste asiático, onde o gênero *Saccharum* ocorre como duas espécies selvagens *S. spontaneum* (L.) e *S. robustum* (Brandes e Jeswiet ex Grassl) e quatro espécies cultivadas, *S. officinarum* (L.), *S. barberi* (Jeswiet), *S. sinense* (Roxb.), e *S. edule* (Hassk.) MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO, 2005). *S. officinarum* é a principal espécie de cana-de-açúcar cultivada, e seu cultivo se concentra em países de clima tropical e equatorial (PENATTI, 2013).

No Brasil, a cana-de-açúcar chegou com os europeus e atualmente é cultivada em diferentes condições de solo, estando presente em todas as Regiões do país. A maior concentração de área plantada é na região sudeste, onde representa cerca de 61% da área total plantada no país, que na última safra somou mais de 10 milhões de hectares. O estado de São Paulo concentrou na última safra 61,6% da área colhida e 54,6% da produção (CONAB, 2017). É uma das principais culturas agrícolas brasileiras, e extremamente versátil, tendo aplicações na fabricação de energias renováveis (etanol de primeira e segunda geração) utilizadas como combustível, na produção do açúcar, bem como para vários outros produtos de interesse (WACLAWOSKY et al., 2010).

A cultura da cana-de-açúcar é capaz de elevada produção de biomassa por área cultivada. Esta qualidade é devida à sua eficiência fotossintética, pois se trata de uma planta de ciclo C4, ou seja, é altamente eficiente em converter energia luminosa em energia química para usos da planta (HUANG; LONG; SINGH, 2016). Do colmo da cana-de-açúcar é extraída a sacarose para a produção de açúcar e etanol, assim como matéria-prima para várias reações químicas ou para a fermentação de bebidas alcoólicas (AMORIM et al., 2011). A cana-de-açúcar é uma das melhores alternativas, se não a melhor para a produção de biocombustíveis. Contudo além da produção de etanol e açúcar, as usinas de produção de maior eficiência conseguem gerar energia elétrica principalmente através da queima do bagaço, o que auxilia na redução dos custos operacionais e contribui para a sustentabilidade da atividade.

O bagaço da cana-de-açúcar obtido a partir da extração da sacarose e a palhada da cana-de-açúcar depositada no campo são resíduos culturais utilizados pelas usinas canavieiras para cogeração de energia elétrica cujos excedentes são utilizados para a

produção de etanol de segunda geração ou vendidos para as empresas de rede elétrica (GOLDEMBERG, 2007; ROCHA et al., 2012; LONG et al., 2015). Isto faz com que a cultura apresente alto índice de aproveitamento da biomassa vegetal com relativo baixo impacto ambiental.

O cultivo da cana-de-açúcar pode fornecer um balanço positivo de energia associado a benefícios ambientais devido ao sequestro de carbono e à sua baixa emissão de gases do efeito estufa, principalmente quando a cana é colhida sem despalha a fogo (GRAHAM; HAYNES; MEYER, 2002; GOLDEMBERG; COELHO; GUARDABASSI, 2008; SILVA-OLAYA et al., 2013). O etanol gerado a partir da cana-de-açúcar se destaca como um biocombustível renovável de baixo impacto ambiental e o Brasil se destaca no setor energético como maior produtor mundial dessa cultura (GOLDEMBERG; COELHO; GUARDABASSI, 2008; CONAB, 2017).

Na última década o sistema de produção da cana-de-açúcar está transitando da colheita manual (com despalha a fogo) para colheita mecanizada (cana crua) para atender aos aspectos da legislação ambiental e também por questões econômicas devido ao menor custo da colheita. A presença da palha sobre o solo, além de um sequestrante de carbono também contribui para elevar a produtividade da cana-de-açúcar, principalmente por aumentar a infiltração e retenção da água além de disponibilizar nutrientes (BALL-COELHO et al., 1993).

No sistema de cana colhida sem despalha a fogo as partes aéreas não aproveitadas são cortadas e lançadas sobre a superfície do solo formando uma cobertura vegetal. Esta palhada que permanece sobre o solo varia entre 10 e 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ de material seco. A presença dessa grande quantidade de palhada sobre o solo provoca mudanças no agroecossistema, exigindo a reformulação do manejo empregado no canavial, principalmente com relação à fertilização nitrogenada e potássica (CANTARELLA, 1998). A cana-de-açúcar consome cerca de 430 kg de fertilizantes por hectare, sendo considerada uma grande quantidade aplicada por unidade de área em contrapartida é uma das culturas que mais produzem por unidade de fertilizante aplicado (ANDA, 2015).

A cultura da cana-de-açúcar utiliza aproximadamente 13% do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil (PENATTI, 2013), sendo o potássio (K) o nutriente mais extraído pela cultura (ORLANDO FILHO et al., 1996). A principal fonte de K utilizado no Brasil é o fertilizante cloreto de potássio (KCl), que contém aproximadamente 60% de K₂O.

1.2 Disponibilidade do potássio nas plantas

O potássio é um dos nutrientes mais absorvidos pelas plantas. No cultivo da cana-de-açúcar é estimado que para cada 100 t ha⁻¹ de colmos são exportados cerca de 150 kg ha⁻¹ de K₂O (MALAVOLTA, 2006), podendo atingir até 285 kg ha⁻¹ de K₂O (FRANCO et al., 2007). A sua absorção pela planta varia com as condições ambientais e manejo durante a safra (RENGEL; DAMON, 2008) e sua concentração nas plantas deve ser entre 2 e 5% de K para ótimo crescimento e desenvolvimento (MARSCHNER, 2012). Apesar de não ser metabolizado a compostos orgânicos pelas plantas, o nutriente desempenha funções de suma importância para processos fisiológicos e bioquímicos no ambiente celular.

Entre as principais funções do K na planta estão a ativação de diversos sítios enzimáticos (MENGEL et al., 2001; FELIPE, 2008), a assimilação e translocação de compostos e água (DEEKEN et al., 2002), a regulação da abertura estomática, turgidez celular e potencial osmótico (TAIZ; ZEIGER, 2010), a atividade fotossintética (EBELHAR; VARSA, 2000), a respiração celular (CUNNINGHAM; SYVERTSEN, 1977), o crescimento meristemático (HEPLER et al., 2001) e a redução de estresses como o excesso de sais no solo, falta de água e baixas temperaturas (CHAVES et al., 2009; LAWLOR; CORNIC, 2002), assim como pragas e doenças (PRABHU et al., 2007).

A absorção de K ocorre na interface da raiz com a solução do solo na forma do cátion K⁺, e sua entrada nas células é facilitada pela elevada permeabilidade da membrana celular e pelo potencial negativo no citoplasma favorecendo a entrada de K⁺ (MENGEL et al., 2001). O cátion K⁺ apresenta alta mobilidade dentro da planta, podendo ser facilmente transportado a qualquer tecido da planta. O K é majoritariamente absorvido de forma passiva, contudo processos ativos de absorção do cátion também foram relatados quando o nutriente se encontra em baixas concentrações na solução do solo (CHEESEMAN; HANSON, 1979). Entre as espécies vegetais existe grande variação no requerimento na habilidade de absorção de K. Essas diferenças são devidas a características distintas como estrutura, densidade e comprimento de raízes.

A maior parte do transporte de K pelo floema é direcionada de tecidos velhos para novos (MENGEL; KIRKBY, 2001). O suprimento adequado de K é importante para a translocação de fotoassimilados no floema e contribui para superar deficiências energéticas ao longo do processo de movimento no floema (GAJDANOWICZ et al., 2011). Além disso, a presença de K é importante para estabelecer um elevado potencial osmótico nos vasos condutores de seiva, manter as taxas de transporte, equilibrar o

balanço de íons (cátions-ânions) o que evita o acúmulo de ácidos orgânicos e auxilia no metabolismo do NO_3^- (MARSCHNER, 2012).

1.3 O potássio no solo

A capacidade dos solos em suprir K para as plantas varia em função das formas em que este nutriente se encontra em solução de sua quantidade total e do grau de disponibilidade de cada forma (MIELNICZUK, 1982). A maioria dos solos contém concentrações significativas de K total, mas somente uma pequena quantidade, cerca de 2%, está na forma de K^+ trocável (NASCIMENTO et al., 2008). O K trocável é o elemento prontamente disponível para a absorção pelas plantas, que está ligado de maneira fraca às cargas negativas dos compostos orgânicos e inorgânicos do solo (YAMADA; ROBERTS, 2005).

O K não trocável é a outra forma como o elemento pode ser encontrado no solo, onde fica retido à estrutura de minerais primários e secundários sendo denominado K estrutural. O K fixado que é aquele que se encontra neutralizando as cargas negativas no interior das camadas de argilo-minerais expansivos, como a vermiculita e a esmectita, ambos minerais do tipo 2:1. O K também se encontra na solução do solo, dissolvido na água e disponível para a pronta absorção das plantas. A somatória de todas essas formas é o K total do solo (NOVAIS et al., 2007).

Estas formas estão em equilíbrio entre si, através da solução do solo, o que afeta a disponibilidade de potássio para as plantas. Quando esse nutriente é retirado da solução do solo, conseqüentemente uma fração dele ligada à fase sólida é liberada para manter o equilíbrio. Todas as formas de potássio podem ser liberadas para a solução do solo, porém a liberação do potássio trocável é a mais rápida, enquanto que a do potássio não trocável é bastante lenta (YAMADA; ROBERTS, 2005).

O K presente na solução do solo movimentam-se verticalmente, principalmente por fluxo de massa (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985). Quando o K percola para além da camada do solo ocupada pelas raízes ocorrem perdas desse nutriente por lixiviação. A quantidade dessa perda depende da fonte de K utilizada, do volume de água percolada e da concentração do K na solução do solo (NOVAIS et al., 2007). A aplicação de fontes de alta solubilidade como o KCl, favorece a sua lixiviação, especialmente em solos arenosos e/ou com baixa capacidade de troca de cátions (CTC) (KINPARA, 2003).

1.4 Fontes de potássio

O potássio é o sétimo elemento mais abundante na crosta terrestre, estando presente em maiores concentrações nas rochas ígneas e xistos, enquanto que os calcários e arenitos apresentam concentrações menores (SCHROEDER, 1978). Apesar do Brasil ser o quarto maior consumidor de fertilizantes potássicos a sua mineração é pequena, considerando que 90 a 95% dos fertilizantes potássicos precisam ser importados (ANDA, 2015). O consumo mundial de fertilizantes potássicos é suprido principalmente pelo Canadá, Rússia, Bielorrússia e Alemanha que produzem 74% da demanda (KULAIF, 2009). O Brasil é o décimo maior produtor de fertilizantes potássicos (IBRAM, 2010), e suas reservas na forma de minerais carnalita e silvinita, cujos principais depósitos explorados encontram-se no estado de Sergipe (OLIVEIRA, 2010).

A complementação da fertilidade do solo com K, principalmente em solos deficientes, melhora o rendimento das colheitas e torna as culturas mais tolerantes a pragas e doenças (PRABHU et al., 2007). O K é usado como fertilizante desde o século III a.C., na forma de cinzas ou resíduos vegetais. Na América do Norte, os índios já utilizavam cinzas de árvores quando chegaram os primeiros colonizadores europeus (NASCIMENTO; LAPIDO LOUREIRO, 2004).

As principais fontes potássicas utilizadas na agricultura são o KCl, o sulfato de potássio (K_2SO_4), o sulfato duplo de potássio e magnésio ($K_2SO_4.MgSO_4$) e o nitrato de potássio (KNO_3). Dentre estas fontes, o KCl corresponde a 90% dos fertilizantes produzidos e o e mais utilizado na agricultura (IBRAM, 2010). Esta importância é devida à sua alta concentração de K_2O (58 a 62%) e baixo custo por unidade de K (YAMADA; ROBERTS, 2005). O Brasil importa cerca de 90% desse fertilizante (IBRAM, 2010).

Deve-se ressaltar que o KCl possui alto índice salino, podendo causar danos às plantas, sendo especialmente danoso em períodos de seca ou em aplicação localizada. O índice salino de um fertilizante é uma medida da tendência do adubo em aumentar a pressão osmótica da solução do solo comparada à medida do nitrato de sódio ($NaNO_3$), cujo valor é igual a 100, e o do KCl é igual a 116,3 (KORNDORFER, 2006). Além disso, o KCl é fonte de cloro (Cl), que deve ser evitado em algumas culturas sensíveis a esse elemento, podendo ocasionar clorose e necrose das folhas, além de queda na produção (SILVA et al., 2001).

No abacaxi (*Ananas comosus*), 15 g planta⁻¹ de K_2O provenientes do KCl diminui o tamanho do fruto, o teor de açúcar e de amido e aumenta a acidez do fruto devido ao Cl impedir a absorção de K pela planta. No fumo (*Nicotiana tabacum*) o Cl reduz suas

propriedades de queima e incandescência, fazendo com que folhas com mais de 1% de Cl sejam rejeitadas na fabricação de charutos. Fertilizantes que possuem cloreto (Cl^-) em sua composição afetam a microbiota no solo, pois nessa forma o Cl é um poderoso bactericida, e por essa razão que o KCl (45% de Cl) foi proibido na agricultura orgânica (SANTOS et al., 2006).

Outros fertilizantes potássicos utilizados na agricultura são os sulfatos e os nitratos. O sulfato de potássio possui de 50 a 52% de K_2O e 18% de enxofre (S), os quais são solúveis em água. O sulfato duplo de potássio e magnésio é composto de 22% de K_2O , 11% de magnésio (Mg) e entre 22 a 23% enxofre solúveis em água. O nitrato de potássio apresenta 44% de K_2O e 13% de nitrogênio (N) e é muito solúvel ideal para ser usado em sistemas de fertirrigação. Esses fertilizantes apresentam menores índices salinos e contêm, além do K, outros nutrientes como o S, o Mg ou o N, porém são pouco usados por serem mais caros que o KCl (OLIVEIRA et al., 2013; YAMADA; ROBERTS, 2005).

Uma fonte alternativa ao uso desses fertilizantes convencionais são os pós de rocha. Estes fertilizantes são constituídos a partir da moagem de rochas e a sua aplicação como fertilizante diretamente no solo com ou sem um tratamento prévio, é conhecido como rochagem. No Brasil, a rocha metassedimentar verdete é rica em potássio (glauconita) contendo entre 7% e 14% (PIZA et al., 2009) e é comumente utilizada para esta finalidade (fertilizante potássico). Essa rocha apresenta grande potencial para exploração como fertilizante potássico, porém apenas a sua moagem e aplicação direta no solo não a tornam uma eficiente fonte de K para culturas agrícolas.

Deste modo, há a necessidade de aumentar a solubilidade do K contido no verdete alterando sua estrutura física e/ou química. A calcinação da rocha a temperaturas elevadas tem mostrado potencial para aumentar a solubilidade do K contido no verdete. A calcinação se destaca entre as técnicas de solubilização de nutrientes em rochas pela facilidade operacional, o custo relativamente baixo e a possibilidade de associação com outras técnicas de solubilização.

1.5 Nutrição potássica na cana-de-açúcar

As interpretações e recomendações de adubação potássica para a cana-de-açúcar são geralmente baseadas no teor de K trocável no solo. Contudo para maior eficiência da adubação potássica é importante conhecer as taxas de absorção, acúmulo e exportação de K durante os estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e após a sua colheita, a

salinidade do fertilizante potássico, a dinâmica no nutriente no perfil e o potencial de perdas por lixiviação e erosão, a fim de garantir a melhor época, método, dose e fonte de K a ser empregado (ERNANI et al., 2007). As formas não trocáveis de K no solo e o K liberado a partir da palhada podem ser solubilizadas e contribuir para nutrição do canavial (ROSOLEM et al., 1993; CALONEGO et al., 2005; SIMONSSON et al., 2007).

A adubação com KCl é utilizada pela maioria dos produtores rurais e nas áreas mais afastadas da usina, onde a fertirrigação é economicamente inviável ou quando o volume de vinhaça produzido é insuficiente (KORNDÖRFER et al., 1994). Outra forma de disponibilizar K na área é através da palha. Existem trabalhos indicando maior resposta da cana-soca (cana colhida depois do primeiro corte) à despalha a fogo do que em relação à aplicação de fertilizantes potássicos (KORNDÖRFER et al., 1999). Além disso, os autores afirmam que a quantidade de K necessária para cana-soca depende dos níveis de K no solo e da produtividade esperada.

Kumar et al. (2007), em cultivo de cana-soca em solo franco argiloso observaram que a maior produtividade da cana-de-açúcar (88 t ha^{-1}) foi obtida com a aplicação de 66 kg ha^{-1} de K_2O . Shukla et al. (2009) observaram aumento no número de brotos, na produção e na absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar com a aplicação de K, sendo também, a dose de 66 kg ha^{-1} de K_2O a dose de maior produção pela cultura. Lana et al. (2004), estudando os efeitos da aplicação de quatro doses de K_2O (0 até 180 kg ha^{-1}) em Latossolo Vermelho, observaram que a adubação potássica teve efeito positivo sobre a produção de colmos e a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar.

Outros estudos apontaram que o K não afeta o teor de açúcares na cana-de-açúcar (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et al., 1980) entretanto, devido ao aumento de produtividade, a quantidade final de açúcar produzido por área pode aumentar (KORNDÖRFER, 1994). Por outro lado, quanto maior a dose de K aplicada, maior o teor de cinzas no caldo (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et al., 1980; KORNDÖRFER, 1994). Um elevado teor de cinzas pode reduzir o rendimento industrial na produção de açúcar, enquanto que no processo de produção do etanol as cinzas agem como cofatores do processo de fermentação (KORNDÖRFER, 1994). Por essas observações que fica evidente a importância do equilíbrio do K na cana-de-açúcar para alcançar melhores produtividades e qualidade dos produtos obtidos a partir da cana-de-açúcar.

1.6 Suprimento de potássio pela palhada

Com a proibição da queima da palhada os restos culturais se acumulam na superfície do solo promovendo benefícios ao sistema como a reciclagem de nutrientes, a diminuição de plantas daninhas e o aumento da CTC. Existe ainda a possibilidade de retirada de parte desta palhada do campo para produção de bioenergia e etanol de segunda geração. A palhada de cana-de-açúcar constitui uma excelente fonte de nutrientes e matéria orgânica para o solo e a cultura, possibilitando a diminuição do uso de fertilizantes, beneficiando a sustentabilidade e o balanço energético da cadeia produtiva da cana-de-açúcar (FORTES, 2010).

Grande parte do potássio pode ser liberado da palhada antes da sua completa decomposição, devido ao fato do potássio não ser constituinte de nenhum composto orgânico da planta e estar presente na forma iônica sendo prontamente liberado após o rompimento da membrana plasmática celular (MALAVOLTA et al., 1997; MARSCHNER, 2012). Em estudo com 10 das variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas encontrou-se, em média, 130 kg ha⁻¹ de K acumulados na palha, e deste total até 85% poderiam ser liberados para a solução do solo em 1 ano, viabilizando a redução da dose de K para cana-soca (Tabela 1).

Tabela 1. Quantidades de macronutrientes fornecidos pela palhada de cana-de-açúcar.

Reciclagem de Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S
Palha (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	54,7	4,4	76	54,9	25,5	15
Taxa de mineralização (% ano ⁻¹)	20	60	85	50	50	60
Total por ano (kg ha ⁻¹)	10,9	2,6	64,6	27,5	12,8	9

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA et al. (1999).

Considerando a mineralização do K em áreas de canavial sem despalha a fogo a adubação mineral com este nutriente em soqueiras pode ser reduzida em relação ao sistema de cana queimada. Estima-se que a palhada de cana-de-açúcar pode contribuir com cerca de 50 a 70 kg ha⁻¹ de K₂O, esta quantidade fornecida pela palhada pode então ser descontada da recomendação de adubação (OLIVEIRA et al., 2003; DEMATTÊ, 2005; ROSSETTO et al., 2008).

2 Fontes alternativas de potássio

A rochagem é uma tecnologia que pode diminuir a dependência por fertilizantes convencionais, podendo se tornar uma prática adotada pelos agricultores em função de custos reduzidos (THEODORO et al. 2006). Esta tecnologia pode ser entendida como um processo de remineralização do solo através da adição de pó de rocha, ou seus derivados. Esses fertilizantes são capazes de incrementar os níveis de fertilidade do solo, sem afetar negativamente o equilíbrio do meio ambiente (MARTINS et al. 2008).

A rocha moída pode ter sua reatividade aumentada com uma fonte externa de energia, capaz de alterar a estrutura cristalina do mineral e sua solubilidade. A moagem e a calcinação (adição de CaCO_3 e temperaturas superiores a $560\text{ }^\circ\text{C}$) são os tratamentos físicos mais comuns para elevar a solubilidade de rochas. A moagem aumenta a superfície específica das rochas acelerando o seu processo de decomposição térmica. A calcinação é uma técnica que promove a quebra da estrutura físico-química do mineral proporcionando substituições isomórficas e/ou quebra da estrutura do mineral, aumentando assim a taxa de liberação do K contido no mineral. A calcinação promove a liberação de compostos voláteis e água estrutural resultando em aumento da concentração dos elementos restantes (LEITE, 1985).

O processo térmico para a solubilização de rochas potássicas com a adição de calcário (CaCO_3) tem sido pesquisado desde a década de 1980 devido à sua relativa simplicidade operacional e à possibilidade de se misturar outros materiais para compor um produto mais solúvel e com características agronômicas desejáveis, como o termopotássio (EICHLER, 1983; LEITE, 1985).

2.1 Termopotássio

O verdete utilizado para a produção do termopotássio é uma rocha silicatada de coloração verde escura composta por quartzo, feldspato, K e micas. Entretanto o K presente nessa rocha é pouco solúvel em água e para acelerar sua liberação quando aplicado no solo, é realizado o tratamento químico (adição de CaCO_3 e/ou CaSiO_3) e térmico do verdete, processo que dá origem ao termopotássio.

2.1.1 Vantagens do termopotássio

Efeito residual no solo: o termopotássio libera gradativamente o K para a solução do solo aumentando o efeito residual desse nutriente no solo, e dessa forma o K fica

menos sujeito à lixiviação como ocorre no caso de formas altamente solúveis (p. ex. KCl) (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985).

Efeito alcalino: a adição de CaCO_3 durante processo de produção do termopotássio faz sua reação seja capaz de neutralizar a acidez do solo. Devido aos minerais adicionados o termopotássio apresenta caráter alcalino ao reagir com solos ácidos, corrigindo seu pH. A mistura do verdete de Abaeté com o fosfato de Araxá em partes iguais, juntamente com a adição de 30 a 40% de calcário magnesiano, e submetida ao tratamento fusão térmica, produz um termopotássio de considerável poder corretivo do solo (LEITE, 1985).

Fonte de vários nutrientes: o termopotássio, além de disponibilizar K, também é capaz de fornecer Ca e Mg (calcário), e silício (Si) para a solução do solo, bem como foi capaz de aumentar o pH dos solos (DUARTE, 2012). O Si proporciona melhoria no estado nutricional das plantas, sendo observada uma redução na toxidez de ferro, manganês, alumínio e sódio, e na redução na taxa de transpiração, além do controle de doenças na planta (EPSTEIN, 2009).

Ausência de cloro: o termopotássio não apresenta Cl na sua composição química. Lavouras adubadas com altas doses de K, na forma de KCl, favorecem acúmulo de Cl nas folhas afetando importantes processos fisiológicos (ECHER et al., 2009).

Baixo índice salino: o uso de termopotássio com fonte de K reduz a ocorrência de problemas devido ao efeito salino, que pode prejudicar a germinação e o bom desenvolvimento de algumas culturas (NEPTUNE et al., 1980). O uso de altas doses de fontes de K que apresentem elevado índice salino (p. ex. KCl) ocasiona o aumento da salinidade no sulco de semeadura ou na região da rizosfera, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (ECHER et al., 2009).

REFERÊNCIAS

- AMORIM, H.V.; LOPES, M.L.; OLIVEIRA, J.V.D.; BUCKERIDGE, M.S.; GOLDMAN, G.H. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 91, p. 1267-1275, 2011.
<https://doi.org/10.1007/s00253-011-3437-6>
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2015**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 1, p. 1004-1008, 1993.
<https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500050009x>
- CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A.; FONOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 99-108, 2005.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000100011>
- CANTARELLA, H. Aplicação de nitrogênio em sistema de cana-crua. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 16, n. 1, p. 21-22, 1998.
- CHAVES, M.M.; FLEZAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, London, v. 103, p. 551-560, 2009.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>
- CHEESEMAN, J.M.; HANSON, J.B. Energy-linked potassium influx as related to cell potential in corn roots. **Plant Physiology**, Washington, v. 64, p. 842-845, 1979.
<https://doi.org/10.1104/pp.64.5.842>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de Grãos, Café, Cana-de-Açúcar e Laranja** (Área Plantada, Produtividade e Produção): Cana-de-açúcar, 4º Levantamento - Safra 2016/17. Disponível em: <<http://conab.gov.br>>. Acesso em: 10 julho 2017.
- CUNNINGHAM, G.L.; SYVERTSEN, J.P. The effect of nonstructural carbohydrate levels on dark CO₂ release in creosotebush. **Photosynthetica**, Prague, v. 11, p. 291-295, 1977.
- DEEKEN, R.; GEIGER, D.; FROMM, J.; KOKOREVA, O.; ACHE, P.; LANGENFELD-HEYSER, R.; SAUER, N.; MAY, T.; HEDRICH, R. Loss of the AKT2/3 potassium channel affects sugar loading into the phloem of *Arabidopsis*. **Planta**, Berlin, v. 216, p. 334-344, 2002.
<https://doi.org/10.1007/s00425-002-0895-1>
- DEERR, N. **The history of sugar**. Vol. 1. Chapman and Hall Ltd., London. 1949. 258 pp.

DEMATTE, J. L. I. **Cultura da cana-de-açúcar: recuperação e manutenção da fertilidade dos solos**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. 24 p. (Informações Agronômicas, 111).

DUARTE, I. N. Termopotássio: **Fertilizante alternativo para a Agricultura brasileira**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

EBELHAR, S.A.; VARSA, E.C. Tillage and potassium placement effects on potassium utilization by corn and soybean. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, Athens, v. 31, p. 11-14, 2000.

ECHER, F. R.; et al. Fontes de Potássio na adubação de cobertura do algodoeiro. I: **atributos biométricos e componentes de produção**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 1938-1943.

EICHLER, V.; LOPES A.S. Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado com calcário magnesiano, para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em solo de textura argilosa. **Ciência e Prática**, Lavras, v.7, n.2, p.136-146, 1983.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, v. 155(2), p. 155-160. 2009.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS R.F.; ALVAREZ-VENEGAS, V.H.; BARROS, N.F.; Fontes, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. 2008. 70 f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2008.

FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e da decomposição da palhada em ciclos consecutivos**. 2010. 153 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canal. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, p. 249-256, 2007.

GAJDANOWICZ, P.; MICHARD, E.; SANDMAN, M.; ROCHA, M.; DREYER, I. Potassium gradients serve as a mobile energy source in plant vascular tissues. **Proceedings of the National Academy of Sciences of India**, Allahabad, v. 108, p. 864-869, 2011.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1009777108>

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, New York, v. 315, p. 808-810, 2007.

<https://doi.org/10.1126/science.1137013>

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy policy**, Oxford, v. 36, p. 2086-2097, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.028>

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal of Soil Science**, Paris, v. 53, p. 589-598, 2002.

<https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2002.00472.x>

HEPLER, P.K.; VIDALI, L.; CHEUNG, A.Y. Polarized cell growth in higher plants. **Annual Review of Cell Biology**, Palo Alto, v. 17, p. 159-187, 2001.

<https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.17.1.159>

HUANG, H.B.; LONG, S.; SINGH, V. Techno-economic analysis of biodiesel and ethanol co-production from lipid-producing sugarcane. **Biofuels Bioproducts & Biorefining**, Hoboken, v. 10, p. 299-315, 2016.

<https://doi.org/10.1002/bbb.1640>

INTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**, 5. Ed, 2010. Disponível em:

<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001150.pdf>. Acesso em: 11/07/2017.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do Potássio para o Brasil**. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados. 2003, 27 p. (Documento 100).

KORNDÖRFER, G. H. **Apostila Potássio**, 2006. Disponível em:

<<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.%20POTASSIO%20-%20Apostila%2006.pdf>>. Acesso em: 10 julho de 2017.

KORNDÖRFER, G.H. **Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar**. In: SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. (Coord.). Importância da adubação e qualidade dos produtos agrícolas. São Paulo: Ícone, 1994. p.133-142.

KORNDÖRFER, G.H.; RIBEIRO, A.C.; ANDRADE, L.A.B. **Cana-de-açúcar**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 285-288.

KULAIIF, Y. Perfil do potássio. Produto 29 Agrominerais. **Ministério de Minas e Energia – MME**, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. Relatório Técnico 52,40p., 2009.

KUMAR, S.; RANA N.S.; CHANDRA, R; SANDEEP, K. Effect of phosphorus and potassium doses and their application schedule on yield, juice quality and nutrient use efficiency of sugarcane-ratoon crop sequence. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, Pantnagar, v. 55, n. 4, p.122-142, 2007.

- LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; MACIEL JÚNIOR, V. A. Parcelamento da adubação potássica na cana-planta. **STAB Açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2004.
- LAWLOR, M.M.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 275-294, 2002.
<https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
- LEITE, P. da C. **Efeito de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo**. 1985. 160f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Pós-graduação em Agronomia, Escola superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.
- LONG, S.P.; KARP, A.; BUCKERIDGE, M.S.; DAVIS, S.C.; JAISWAL, D.; MORE, P.H.; MOOSE, S.P.; MURPHY, D.J.; ONWONA-AGYEMAN, S.; VONSHAK, A. Feedstocks for biofuels and bioenergy. In: SOUZA, G.M.; VICTORIA, R.L.; JOLY, C.A.; VERDADE, L.M. (Eds), **Bioenergy & sustainability: Bridging the gaps**. SCOPE, Paris. p. 302–347, 2015. Disponível em:
<http://bioenfapesp.org/scopebioenergy/index.php> (acesso em 01 de setembro de 2017).
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E. VITTI, G.C. OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba:Potafos, 1997. 308p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2012. 651 p.
- MARTINS, E.S., OLIVEIRA, C.G., RESENDE, A.V., MATOS, M.S.F. Agrominerais - rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para agricultura. In: LUZ, A.B.; LINS, F. (Eds.). Rochas e minerais industriais - usos e especificações, 2008. p. 205-221.
- MATSUOKA, S.; GARCIA, A.A.F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora da UFV, 2005. p. 225-274.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A.; KOSEGARTEN, H.; APPEL, T. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 846 p.
<https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>
- MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração - experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; et al. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982.556p.
- NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (2004). **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro, CETEM/MCT. 66p. (Série Estudos e Documentos,61).

- NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. Potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas. In: _____. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 305-336.
- NASCIMENTO, M; MONTE, M. B. de M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Capítulo 8 – Agrominerais - Potássio, In: LUZ, Adão B. ; LINS, Fernando A. F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, 2008.
- NEPTUNE, A.M.L.; et al. Disponibilidade do potássio a partir de vários materiais potássicos, utilizando o arroz como planta indicadora. In: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, **Anais ...**, Piracicaba, v.27, p.979-989, 1980. <https://doi.org/10.1590/S0071-12761980000200025>
- NOVAIS, R.F; et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2007.101p.
- OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; JORDÃO, L.T. Adubação potássica na soja: cuidados no balanço de nutrientes. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 143, p. 1-10, 2013.
- OLIVEIRA, A.L.M.; CANUTO, E.L.; REIS, V.M. BALDANI, J.I. Response of micropropagated sugarcane varieties to inoculation with endophytic diazotrophic bactéria. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de. Janeiro, v. 34, p. 59-61, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-83822003000500020>
- OLIVEIRA, L.A.M. Potássio In: Sumário Mineral-2009. **Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)**, Brasília, v.29, 104 p., 2010.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J. de C.; PENATTI, C.P. Degradação da palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000400006>
- ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e MG de solo Areia Quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.14, n. 5, p. 13-17, 1996.
- ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELO JÚNIOR, E.; RODELLA, A.A. Calibração de potássio no solo e recomendação de adubação para cana-de-açúcar. **Revista Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 97, n. 1, p. 18-24, 1980.
- PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência**. 1. ed. Itu, SP, Brazil: 2013. Editora Ottoni, 347 p.
- PIZA, P. A. DE T.; FRANÇA, S. C. A.; BERTOLINO, L. C. **Termopotássio do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio**. XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2009.
- PIZA, P. A.T.; BERTOLINO, L. C.; SILVA, A.A.S.; SAMPAIO J. A.; LUZ, A. B. Verdete da região do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para Potássio. **Geociências**, São Paulo, 30:345-356, 2011.

PRABHU, A.S.; FAGERIA, N.K.; HUBER, D.M.; RODRIGUEZ, E.A. Potassium and plant disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Eds.). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: The American Phytopathological Society Press, 2007, 278 p.

RENGEL, Z.; DAMON, P.M. Crops and genotypes differ in efficiency of uptake and use. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 133, p. 624-636, 2008.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01079.x>

ROCHA, G.J.M.; GONÇALVES, A.R.; OLIVEIRA, B.R.; OLIVARES, E.G.; ROSSELL, C.E.V. Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 35, p. 274-279, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.010>

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, p. 1045-1054, 1993.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes na cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, Campinas, v. 1, p. 8-13, 2008.

SANTOS, L. V.; et al. **Adsorção de Cloreto e Potássio em Solos Tropicais**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 29, n.2, p.101-121, 2006.

SANZONOWICZ, C.; MIELCNIZUK, J. Distribuição do potássio no perfil do solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, n. 1, p. 45-50, 1985.

SCHROEDER, D. Structure and weathering of potassium containing minerals. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 11, 1978, Basel. **Anais...** Basel, 1978. p. 43-63.

SHUKLA, S.K.; YADAV, R.L.; SINGH, P.N.; SINGH, I. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) ratoon yield. **Uttar Pradesh**, India, v. 30, n. 1, p. 27-33, 2009.

SILVA, G.M.A. Cana crua x cana queimada. Restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SEMANA DA CANA-DEAÇÚCAR DE PIRACICABA, 2. 1997. Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 55-57.

SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; FERNANDES, H. G.; SCIVITTARO, W. B. Efeito do Cloreto de potássio na salinidade de um solo cultivado com pimentão, *Capsicum annuum* L., em ambiente protegido. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1085-1089, 2001.
<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v23i0.2563>

SILVA-OLAYA, A.M.; CERRI, C.E.P.; SCALA Jr., N.L.; DIAS, C.T.S.; CERRI, C.C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in the cultivation of 25 mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, Cambridge, v. 8, p. 015014, 2013.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015014>

SIMONSSON, M. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. **Geoderma**, Amsterdam, v. 140, p. 188-198, 2007.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.04.002>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 848 p.

THEODORO, S.H; LEONARDOS, O; ROCHA,E.L.; REGO,K.G Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço & Geografia**, Brasília vol.9, no. 2, p.263-292, 2006.

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO, P. M.; LEMBKE, C. G.; MOORE, P. H.; SOUZA, G.M. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v.8, p.263-276, 2010.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00491.x>

YAMADA, T.& ROBERTS, T.L. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2005.841p.

ZAMBELLO JR.; ORLANDO FILHO, J. A adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v.3, n.3, mar. 1981.

CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO DE TERMOPOTÁSSIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-PLANTA)

RESUMO

ASSIS, RAFAEL TADEU. **Avaliação de termopotássio na cultura da cana-de-açúcar (cana-planta)**. 2018. 37 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

A cultura da cana-de-açúcar é altamente exigente em potássio, um nutriente que precisa ser largamente importado. Outras fontes alternativas de potássio podem supri-lo, mas seus resultados na cana-de-açúcar ainda são pouco estudados. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar atributos tecnológicos da cana, produtividade, atributos químicos foliares e do solo na cana planta, pela aplicação do termopotássio no sulco de plantio da cana-de-açúcar. Esse experimento de campo foi conduzido em três áreas comerciais de produção de cana-de-açúcar nos estados de Goiás e São Paulo. As avaliações de solo e planta ocorrerão cerca de oito meses após a instalação dos experimentos. As variáveis que apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) nas usinas estudadas apresentaram resultados favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar com a aplicação de termopotássio TK47. A aplicação de doses menores de K_2O como termopotássio apresentou resultados similares ou superiores a 400 kg ha^{-1} de K_2O aplicado como KCl. A aplicação do termopotássio TK47 é uma excelente alternativa para o fornecimento de K e outros nutrientes (Ca, Mg, Si) para a cana-planta.

Palavras-chave: potássio, adubação, atributos tecnológicos, *Saccharum officinarum* L.

¹ Professor orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU

CHAPTER 2 - EVALUATION OF THERMOPOTASSIUM IN THE CULTURE OF SUGAR CANE

ABSTRACT

ASSIS, RAFAEL TADEU. **Evaluation of thermopotassium in the culture of sugar cane.** 2018. 37 p. Thesis (PhD. in Agronomy) - Federal University of Uberlândia.²

The sugarcane crop is highly demanding in potassium, a nutrient that needs to be largely imported. Other alternative sources of potassium can deliver it, but their results in sugar cane are still little studied. Thus, the objective of this study was to evaluate technological attributes of sugarcane, productivity, chemical attributes of the leaf and soil by the application of thermopotassium in the furrow at the sugarcane planting. This field experiment was carried out in three commercial areas of sugarcane production in the states of Goiás and São Paulo. Evaluations of soil and plant occurred approximately eight months after the installation of the experiments. The variables that showed significant differences ($p < 0.05$) in the plants studied showed favorable results to the cultivation of sugarcane with the application of TK47 thermopotassium. The application of lower doses of K_2O as thermopotassium presented results similar or superior to 400 kg ha^{-1} of K_2O applied as KCl. The application of TK47 thermopotassium is an excellent alternative for the supply of K and other nutrients (Ca, Mg, Si) for sugarcane in the first year of crop production.

Keywords: potassium, fertilizing, technological attributes *Saccharum officinarum* L.

²Adviser: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da cana-de-açúcar pode ser influenciada pelo potássio (K), que é o nutriente exportado em maior quantidade pela cultura (KORNDORFER e OLIVEIRA, 2005; FRANCO et al., 2007). Além de influenciar sua qualidade atua no metabolismo da planta, ativando várias enzimas, exerce importante função na abertura e fechamento dos estômatos, (FIGUEIREDO, 2006). Esse nutriente é fornecido, principalmente por meio do cloreto de potássio (KCl), entretanto pode ser fornecido por outras fontes como termopotássio. O termopotássio é fabricado da calcinação do Verdete - rocha metassedimentar que contem 7% a 14% de K_2O (PIZA et al., 2011) com carbonato de cálcio (Ca), que contém outros nutrientes além do K.

Em estudo desenvolvido por Duarte (2012), onde foram realizados dois cultivos consecutivos da cultura do milho em vasos em dois tipos de solos e com o objetivo de avaliar o termopotássio como fonte de K e outros nutrientes, o termopotássio liberou parte do K, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si) no primeiro cultivo e mostrou efeito residual no segundo cultivo. Esta característica de disponibilidade de nutrientes gradualmente é muito importante para a cultura da cana-de-açúcar, já que a mesma apresenta ciclo relativamente longo e consegue melhor aproveitamento dos nutrientes liberados de forma gradual.

Além do efeito residual do termopotássio, outro benefício de seu uso é seu baixo índice salino, (BORGES *et al.*, 2006; MELAMED *et al.*, 2009). Desta forma, se permite a aplicação de elevadas doses do fertilizante no fundo do sulco de plantio sem a necessidade do parcelamento da adubação. Os nutrientes presentes no termopotássio estão menos sujeitos às perdas por lixiviação devido à liberação dos nutrientes a uma taxa mais compatível com as demandas das plantas.

Porém essa dinâmica de liberação dos nutrientes pode variar de acordo com o tipo de solo. A lixiviação dos nutrientes no perfil do solo é maior em solos de textura arenosa do que nos de textura argilosa (RAJI, 2011), pois quanto menor a partícula do solo, maior a superfície específica, maior a retenção de cátions e menores são as perdas de K, Ca, Mg e Si. Além disso, solos arenosos apesar de apresentar em grande quantidade de Si total, não disponibilizam esse elemento para o sistema solo-planta, pois na forma em que ocorre, SiO_2 , é altamente insolúvel, o que justifica a aplicação de uma fonte silicatada, como o termopotássio (DUARTE, 2015).

Dessa forma, o termopotássio pode ser um fertilizante eficiente para disponibilizar gradativamente K, Ca, Mg e Si em diferentes condições de solo e de clima, apresentando resultados compatível com fertilizantes tradicionais (FIGUEIRA, 1994). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência e equivalência das fontes, produtividade, parâmetros tecnológicos, atributos químicos do solo e absorção foliar de nutrientes em cana-planta pela aplicação de termopotássio no sulco de plantio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das fontes de potássio

Para este estudo utilizou-se o termopotássio (TK47) desenvolvido pela Verde Fertilizantes Ltda., que é obtido através da mistura e aquecimento de Verdete, calcário e reagentes químicos. A composição química do Verdete utilizado para a fabricação do TK47 é apresentada na tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química do Verdete utilizado para a fabricação do TK47.

Elemento	-- % --
SiO ₂	57,940
K ₂ O	11,180
Fe ₂ O ₃	6,720
MgO	2,690
MnO	0,110
TiO ₂	0,800
Na ₂ O	0,090
P ₂ O ₅	0,080
CaO	0,060
Cr ₂ O ₃	0,016

Fonte: Kahn et al. (2011)

A primeira etapa para a produção do termopotássio é a extração de Verdete através do processo de lavra de mina a céu aberto. A seguir, o minério lavrado é enviado para a britagem para redução da granulometria. Em seguida, o calcário e os reagentes são misturados ao Verdete, passando então por uma fina moagem e posterior secagem. A mistura em pó é então conduzida a um reator térmico para processamento pirometalúrgico, sendo sequentemente padronizado e embalado para comercialização (MORETTI, 2012). Sua caracterização física e química é apresentada a seguir (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização física e química do cloreto de potássio (KCl) e do termopotássio (TK47).

	KCl	TK47
Caracterização Física		
Peneira	----- % -----	
2mm (ABNT nº 10)	96,7	28,4
0,84mm (ABNT nº 20)	3,0	36,3
0,30 mm (ABNT nº 50)	0,2	23,7
Fundo da peneira	0,1	11,6
Caracterização Química		
¹ Índice Salino	145	0,5
	----- % -----	
² K ₂ O Total	60	7
³ K ₂ O solúvel em água	62	0,5
³ K ₂ O ácido cítrico 2%	61	6
⁴ Si Total	-	28
⁵ Ca Total	-	22
⁵ Mg Total	-	1
⁶ Cl	47	-

1. MAPA (2007); 2. EPA (1996); 3, 5. Dados fornecidos pela Verde Fertilizantes; 4. Korndorfer *et al.* (2004); 6. Embrapa (1999). KCl = cloreto de potássio; TK47 = termopotássio.

2.2 Condução dos experimentos

Os tratamentos aplicados foram diferentes doses dos fertilizantes potássicos. Na tabela 4 são apresentadas as quantidades dos nutrientes que foram adicionadas ao sistema com a adição das respectivas doses de cada tratamento.

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos aplicados à ao solo, no plantio da cana-de-açúcar

Fonte	Dose	K ₂ O	Ca	Mg	Si	Cl
	----- kg ha ⁻¹ -----					
	0	0	0	0	0	0
TK47	714	50	157	7	200	0
	1429	100	314	14	400	0
	2143	150	471	21	600	0
	3571	250	785	36	1000	0
KCl	167	50+50*	0	0	0	78
	667	400	0	0	0	313

*: 50+50 corresponde a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K₂O como KCl, sendo metade (50 kg ha⁻¹ de K₂O) aplicado no plantio e a outra metade no quebra lombo.

Neste estudo as comparações das doses de termopotássio (TK47) foram realizadas frente ao fertilizante potássico mais utilizado no Brasil, o cloreto de potássio (KCl), reiterando que o KCl é fonte apenas de K e Cl, e que o termopotássio (TK47) apresenta outros nutrientes em sua composição.

Foram desenvolvidos três experimentos de campo, um foi instalado na Usina Goiasa (Local 1), situada no município de Goiatuba - GO (latitude: 18° 00' 45 Sul, longitude: 49° 21' 17" Oeste, a 774 m de altitude); outro experimento foi instalado na Usina Jalles Machado (Local 2), situada no município de Goianésia - GO (latitude: 15° 19' 03" Sul, longitude: 49° 07' 03" Oeste, a 640 m de altitude) e um terceiro experimento foi instalado na Usina Junqueira-Raízen (Local 3), situada no município de Igarapava - SP (latitude: 20° 02' 18" Sul, longitude: 47° 44' 49" Oeste, a 576 m de altitude).

2.2.1 Características do Local 1

A área possui solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, eutrófico, com um teor de argila de 44%, cujas características químicas encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização química do solo utilizado no experimento do Local 1 (análise de solo fornecida pela usina).

Prof.	pH H ₂ O	P	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	M.O.
cm	--	--mg dm ⁻³ --		-----		cmol _c dm ⁻³	-----				---- % ----		dag kg ₁ ⁻¹
0-20	5,4	5,7	29,0	0	3,3	2,2	1,1	3,4	3,4	6,7	50,7	0	4,0
20-40	5,7	1,9	24,7	0	2,8	2,4	1,3	3,8	3,8	6,5	58,5	0	3,7

P, K = HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹; P disponível = extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al = KCl 1 mol L⁻¹; H+Al = SMP a pH 7,5; SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7; V = saturação por bases; e, m = saturação por alumínio foram avaliados segundo EMBRAPA (1999). MO = matéria orgânica pelo método colorimétrico.

2.2.1.1 Instalação e tratamentos

O plantio da cana, variedade CTC-02, foi realizado no dia 25 de junho de 2014, em delineamento de blocos casualizados, onde as parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de cana com 15 metros de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 metros, totalizando 112,5 m² de área total com 4 repetições. Os tratamentos (Tabela 4) foram aplicados manualmente sobre a linha, logo após plantio da cana (Figura 1). Os tratamentos com TK47 e dose de 400 kg ha⁻¹ de K₂O com KCl, foram aplicadas integralmente no plantio e a dose de 100 kg ha⁻¹ de K₂O como KCl, foi aplicada metade

no plantio e metade no quebra lombo. A adubação de plantio foi feita com a aplicação de 185 kg ha^{-1} de MAP no sulco.



Figura 1. Aplicação dos tratamentos em cana-planta. Local 1. (Foto: Ramos, 2014)

2.2.1.2 Avaliações e colheita

Aos 210 dias da instalação do experimento, no dia 27 de janeiro de 2015, realizou-se a contagem de perfilhos e medição das falhas em todas as linhas da parcela. Realizou-se também a coleta de amostras de folha da parte área, seguindo metodologia descrita por Korndörfer; Ramos (2008), para análise dos teores dos seguintes nutrientes: N, P, K, Ca e Mg.

Em julho de 2015, foi realizada a colheita manual das 3 linhas centrais da parcela seguida de pesagem da cana (Figura 2) para a determinação da produtividade. A produtividade dos colmos da cana-de-açúcar em cada parcela experimental foi

determinada após sua colheita manual e com o auxílio de uma célula de carga (Técnica modelo WT-3000) com capacidade para 1000 kg a qual foi acoplada à garra de uma carregadora de cana.



Figura 2. Pesagem da cana colhida manualmente. Local 1. (Foto: Ramos, 2015).

Dentre as plantas colhidas, foram amostradas 10, aleatoriamente para a determinação de altura de planta (com o auxílio de uma trena) de diâmetro de colmo (com o auxílio de um paquímetro), e para as análises tecnológicas de determinação da quantidade de AR (açúcares redutores), ATR (açúcar total recuperado), TAH (tonelada de açúcar por hectare), Pol (quantidade de sacarose presente no caldo), Brix (teor de sólidos solúveis), Pureza e Fibras.

Foram coletadas duas amostras de solo em cada uma das três linhas de cana colhidas das parcelas, nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Si e pH.

2.2.2 Características do Local 2

A área possui solo classificado como Latossolo Vermelho, com um teor de argila de 50%, cujas características químicas encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Caracterização química do solo utilizado no experimento no Local 2 (análise de solo fornecida pela usina).

Prof.	pH H ₂ O	P	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	M.O.
cm	--	-- mg dm ⁻³	--	-----		cmol _c dm ⁻³	-----				---- %	----	dag kg ⁻¹
0-20	5,7	18,6	0,2	0	1,7	1,3	1,1	2,6	2,6	4,3	59,4	0	16,4

P, K = HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹; P disponível = extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al = KCl 1 mol L⁻¹; H+Al = SMP a pH 7,5; SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7; V = saturação por bases; e, m = saturação por alumínio foram avaliados segundo EMBRAPA (1999). MO = matéria orgânica pelo método colorimétrico.

2.2.2.1 Instalação e tratamentos

O plantio da cana foi realizado no dia 21 de maio de 2014, em um delineamento de blocos casualizados, onde as parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de cana com 15 metros de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 metros, totalizando 112,5 m² de área total com 4 repetições. Os tratamentos (Tabela 4) foram aplicados manualmente na banda do sulco e logo após foi realizado o plantio da cana (Figura 3). A adubação de plantio foi feita com a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de MAP no sulco.



Figura 3. Aplicação dos tratamentos e plantio da cana-planta. Local 2. (Foto: Ramos, 2014).

2.2.2.2 Avaliações e colheita

Aos 247 dias da instalação do experimento no dia 28 de janeiro de 2015, realizou-se a medição das falhas em todas as linhas da parcela. Realizou-se também a coleta de amostras de folha da parte aérea, seguindo metodologia descrita por Korndörfer; Ramos (2008), para análise dos teores dos seguintes nutrientes: N, P, K, Ca e Mg.

Em agosto de 2015, foi realizada a queima e a colheita manual das 5 linhas da parcela, seguida de pesagem da cana (Figura 4) para a determinação da produtividade. A produtividade dos colmos da cana-de-açúcar em cada parcela experimental foi determinada após sua colheita manual e com o auxílio de uma célula de carga (Técnica modelo WT-3000) com capacidade para 1000 kg a qual foi acoplada à garra de uma carregadora de cana.



Figura 4. Colheita e pesagem da cana. Local 2. (Foto: Ramos, 2015)

Dentre as plantas colhidas foram amostradas 10, aleatoriamente para as análises tecnológicas de determinação da quantidade de AR (açúcares redutores), ATR (açúcar total recuperado), TAH (tonelada de açúcar por hectare), Pol (quantidade de sacarose presente no caldo), Brix (teor de sólidos solúveis), Pureza e Fibras.

Foi coletada uma amostra de solo em cada uma das linhas de cana colhida das parcelas, nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Si e pH.

2.2.3 Características do Local 3

A área escolhida está situada no município de Igarapava - SP, Sítio Santa Clara, cujas características químicas encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Caracterização química do solo utilizado no experimento na região de Igarapava –SP (análise de solo fornecida pela usina).

Prof.	pH H ₂ O	P	K	Al ³⁺	H+A I	Ca ²⁺	Mg ²⁺ +	SB	T	V	M.O.
cm	--	mg dm ⁻³	-----			mmmol _c dm ⁻³	-----		---	% ---	dag kg ⁻¹
0-25	4,7	9,0	0,5	0,0	24,0	15,8	2,8	19,1	43,0	44,0	14,0
25-50	4,5	6,0	0,5	0,0	26,0	11,2	2,1	13,7	40,0	34,0	13,0

K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); P disponível (extrator Resina); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; alumínio (EMBRAPA, 1999), M.O. = Método Colorimétrico.

2.2.3.1 Instalação e tratamentos

O plantio da cana, variedade RB867515, foi realizado em abril de 2015, em um delineamento de blocos casualizados, onde as parcelas experimentais foram compostas 6 linhas de cana (3 linhas duplas) com 15 metros de comprimento e espaçadas entre si por 1,2 metros com 4 repetições, totalizando 108,0 m² de área total. Os tratamentos (Tabela 4) foram aplicados manualmente na banda do sulco (Figura 5).



Figura 5. Aplicação dos tratamentos em cana-planta – Usina Junqueira- Raízen. (Foto: Ramos, 2015)

2.2.3.2 Avaliações e colheita

Aos 283 dias da instalação do experimento, em fevereiro de 2016, realizou-se a medição das falhas em todas as linhas da parcela e a coleta de amostras de folha da área, seguindo metodologia descrita por Korndörfer e Ramos (2008), para análise dos teores dos seguintes nutrientes: P, K, Ca e Mg.

Em julho de 2016 (15 meses após a instalação do experimento), foi realizada a colheita manual, em toda a parcela experimental, seguida de pesagem da cana (Figura 216) para a determinação da produtividade. A produtividade dos colmos da cana-de-açúcar em cada parcela experimental foi determinada após sua colheita manual e com o auxílio de uma célula de carga (Técnica modelo WT-3000) com capacidade para 1000 kg a qual foi acoplada à garra de uma carregadora de cana.



Figura 6. Pesagem da cana colhida manualmente. Local 3. (Foto: Ramos, 2016).

Dentre as plantas colhidas foram amostradas 10, aleatoriamente para as análises tecnológicas de determinação da quantidade de AR (açúcares redutores), ATR (açúcar total recuperado), TAH (tonelada de açúcar por hectare), Pol (quantidade de sacarose presente no caldo), Brix (teor de sólidos solúveis), Pureza e Fibras.

2.3 Análises das amostras

2.3.1 Análise foliar

Foram coletadas 20 folhas por parcela. A folha retirada foi à terceira a partir do ápice que corresponde à folha TVD (*top visible dewlap*), isso é, com última lígula visível (KORNDORFER; RAMOS, 2008). Após a coleta, o terço médio das folhas sem a nervura foi acondicionado em sacos de papel. No laboratório, essas amostras foram gentilmente lavadas e secas a 65 °C, até atingirem o peso constante. Após seco, o material foi moído em moinho tipo Willey. A partir dessas amostras foram realizadas as análises de P, K, Ca e Mg conforme Embrapa (1999).

2.3.2 Análise de solo

Em cada parcela experimental após a colheita da cana as amostras de solo foram retiradas sobre a linha de plantio da cana-de-açúcar com auxílio de um trado holandês. Essas amostras foram retiradas na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm; posteriormente foram secas e peneiradas depois utilizadas para determinar os teores de K, Ca, Mg e pH do solo, segundo metodologia da Embrapa (1999) e Si segundo Korndörfer (2004).

2.3.3 Análise tecnológica

Os dez colmos foram despontados na altura da gema apical (ponto de quebra) para a realização das análises segundo a metodologia do Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS). Após a desintegração e homogeneização dos colmos, uma alíquota de 500 g foi submetida à prensa hidráulica [250 kgf cm⁻², por 1 (um) minuto] de acordo com o método de Tanimoto (1969), e o caldo extraído foi utilizado para as determinações químico-tecnológicas conforme CONSECAN (2006). Estas determinações são descritas a seguir:

a) Brix do caldo (%): determinado por refratometria a 20 °C (SCHENEIDER, 1979).

b) Fibra: determinado segundo Fernandes (2000) através da fórmula:

Fibra = $(0,152 \times \text{PBU} - 8,367)$, onde:

PBU = peso do bagaço úmido, obtido após a prensagem, a 250 kgf cm⁻², por 1 (um) minuto, de uma amostra de 500 g de cana desintegrada.

c) Pureza aparente (%): A pureza expressa porcentagem dos sólidos solúveis (Brix) que são sacarose (Pol) (FERNANDES, 2003). O coeficiente de pureza é calculado pela relação:

$$\text{Pureza aparente (\%)} = (\text{Pol} / \text{Brix}) \times 100.$$

d) Açúcares redutores (%): açúcares redutores (quantidade conjunta de frutose e glicose) presentes na cana-de-açúcar determinados pela Técnica de Somogy e Nelson, adaptado por Amorim (1979), e calculado por:

$$\text{AR (\%)} = (9,9408 - 0,1049 \times \text{Pur.}) \times (1 - 0,01 \times F) \times C \text{ onde:}$$

Pur. = pureza aparente (%);

F = fibra industrial (% cana), e,

C = fator de transformação de Pol de caldo extraído para Pol de caldo absoluto.

e) Pol caldo (%) e Pol cana (%): dosada pelo método de Schmitz em diluição segundo Scheneider (1979). A Pol do caldo (teor de sacarose aparente por cento em peso de caldo) é calculada pela equação seguinte:

$$S = \text{LPb} (0,2605 - 0,0009882 \times B).$$

A transformação da leitura sacarimétrica com a mistura clarificante, à base de alumínio, para a leitura equivalente em subacetato de chumbo ou (octapol) será feita pela equação:

$$\text{LPb} = 1,00621 \times \text{Lal} + 0,05117, \text{ onde:}$$

LPb = leitura sacarimétrica equivalente à de subacetato de chumbo, e,

Lal = leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificante à base de alumínio.

Assim sendo, a equação completa para o cálculo da pol da cana (S) passa a ser a seguinte:

$$S = (1,00621 \times \text{Lal} + 0,05117) \times (0,2605 - 0,0009882 \times B), \text{ onde B é o Brix do}$$

caldo.

O Pol da cana foi calculado através da seguinte expressão:

$$\text{PC} = S \times (1 - 0,01F) \times C, \text{ onde:}$$

S = Pol do caldo extraído;

F = fibra industrial (% cana), e,

C = fator de transformação de Pol de caldo extraído para Pol de caldo absoluto.

f) Açúcar total recuperável (ATR): reflete o resultado da diferença entre o AR (açúcares redutores) da cana e as perdas na lavagem de cana, no bagaço final, na torta do filtro ou prensa e as “indeterminadas” (FERNANDES, 2003). É calculado pela seguinte equação:

$$\text{ATR (kg t)} = 10 \times \text{PC} \times 1,0526 \times (1 - \text{PI}/100) + 10 \times \text{AR} \times (1 - \text{PI}/100), \text{ sendo:}$$

PC = Pol da cana, que determina a quantidade de sacarose aparente na cana-de-açúcar;

PI = a perda industrial média dos açúcares contidos na cana-de-açúcar em função dos processos industriais e tecnológicos utilizados no Estado de São Paulo, e,

AR = açúcares redutores.

g) Tonelada de açúcar por hectare (TAH): este parâmetro ligado a produtividade da cana-de-açúcar foi calculada através da fórmula:

$$\text{TAH (ton ha}^{-1}\text{)} = \text{TCH} \times \text{ATR}, \text{ onde:}$$

TCH = toneladas de colmos por hectare, e,

ATR = açúcar total recuperável.

2.4 Análise estatística

O conjunto de dados foi testado para a ocorrência de valores extremos (*outliers*) através de gráficos *boxplot* dos erros residuais (CHAMBERS et al., 1983) e os *outliers* identificados (análise gráfica de *boxplot* dos erros residuais) foram calculados como *parcelas perdidas* com o objetivo de minimizar os efeitos de avaliações extremas nas estimativas deste estudo.

Posteriormente esses erros residuais foram testados para a normalidade de sua distribuição por Shapiro-Wilk (1965) ($p > 0,01$) e para a homogeneidade das variâncias por Levene (1960) ($p > 0,01$). Ambas as avaliações (normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias) são para atender às pressuposições do modelo de análise de variância (ANAVA) e foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SPSS Statistics®.

A ANAVA foi realizada para todos os tratamentos (5 níveis de TK47 e 2 níveis de KCl) e quando significativa ($p < 0,05$) os tratamentos foram tratados como qualitativos e suas médias foram testadas por Scott e Knott (1974), ou por Tukey (1977) quando o primeiro teste não identificasse diferenças entre os tratamentos.

Outra ANAVA foi realizada para apenas os níveis de TK47 e quando significativa ($p < 0,05$) os tratamentos foram tratados como quantitativos e suas médias foram analisadas em uma regressão polinomial, ou por Tukey (1977) quando o modelo de regressão não atendesse ao conjunto de dados ($p > 0,05$ e/ou $R^2 < 70\%$).

Ambas as ANAVAs foram conduzidas para experimentos implantados em delineamento de blocos casualizados (DBC). A ANAVA e os testes de médias foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comparações entre todos os tratamentos

Os resultados do teste de *F* e sua significância na ANAVA de todos os tratamentos (doses de TK47 e de KCl) para todas as variáveis analisadas em cana-planta nas três usinas são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Teste de *F* e sua significância da ANAVA entre todos os tratamentos (doses de TK47 e de KCl) em cana-planta.

	Local 1	Local 2	Local 3
Perf.	0,166		
Fal.	0,611	0,738	1,517
Alt.	0,579		
Diam.	0,902		
Colmo	1,165	6,128**	1,483
Brix	0,593	1,125	3,439*
Fibra	2,596	0,426	1,189
AR	3,600*	0,199	1,544
Pol. Cana	0,445	0,598	2,530
Pureza	0,956	0,141	1,073
ATR	0,430	0,625	2,293
TAH	1,142	2,787*	1,868
N fol	0,361	0,711	
P fol	1,160	3,319*	2,221
K fol	4,543**	1,986	1,859
Ca fol	0,565	0,855	2,420
Mg fol	0,773	0,540	2,232
pH 0.20	1,662	1,797	
pH 20.40	1,770	1,296	
Si 0.20	3,760*	4,055**	
Si 20.40	1,959	7,264**	
Ca 0.20	3,268*	3,188**	
Ca 20.40	2,071	2,028	
Mg 0.20	1,428	0,581	
Mg 20.40	1,664	1,545	
P 0.20	1,500	6,885**	
P 20.40	23,787**	2,746*	
K 0.20	17,777**	5,087**	
K 20.40	3,971*	4,421**	

1. Perf.: número perfilhos por metro; Fal.: número de falhas por metro; Alt.: altura média da planta; Diam.: diâmetro de cana; Colmo: cana por hectare; Brix: sólidos solúveis em solução de sacarose quimicamente pura; Fibra: eficiência de extração da moenda; AR: açúcares redutores; Pol.: teor de sacarose aparente na cana; Pureza: Pol./Brix x 100; ATR: açúcar total recuperável; TAH: toneladas de açúcar por hectare; N fol: nitrogênio foliar; P fol: fósforo foliar; K fol: potássio foliar; Ca fol: cálcio foliar; Mg fol: magnésio foliar; pH 0.20: pH em água (2,5:1) a 0-20 cm no solo; pH 20.40: pH em água (2,5:1) a 20-40

cm no solo; Si 0.20: silício a 0-20 cm no solo; Si 20.40: silício a 20-40 cm no solo; Ca 0.20: cálcio a 0-20 cm no solo; Ca 20.40: cálcio a 20-40 cm no solo; Mg 0.20: magnésio a 0-20 cm no solo; Mg 20.40: magnésio a 20-40 cm no solo; P 0.20: fósforo a 0-20 cm no solo; P 20.40: fósforo a 20-40 cm no solo; K 0.20: potássio a 0-20 cm no solo; K 20.40: potássio a 20-40 cm no solo.

* ou **. Valores do Teste de *F* seguidos por ‘*’ ou ‘**’ indicam diferenças entre todos os tratamentos (TK47 e KCl) e foram testadas por Skott-Knott a 5 e 1% de significância, respectivamente.

3.1.1 Local 1

As variáveis que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre seus tratamentos no Local 1 (Tabela 8) são comparadas entre si na Tabela 9. Com a elevação das doses de termopotássio (150 e 250 kg ha⁻¹) foram observadas menores porcentagens de AR. O AR presente nos tratamentos com KCl foi similar aos tratamentos com termopotássio até a dose de 100 kg ha⁻¹.

Tabela 9. Avaliação de médias dos tratamentos (níveis de TK47 ou KCl) que diferiram na ANAVA ($p < 0,05$) no Local 1 (cana-planta).

Trat.	K ₂ O kg ha ⁻¹	AR %	K fol g kg ⁻¹	Si 0-20 mg dm ⁻³	Ca 0-20 cmolc dm ⁻³	P 20-40 mg dm ⁻³	K 0-20 -----cmol dm ⁻³ -----	K 20-40
Test.	0	0,87 a ¹	8,75 b	9,9 b	3,25 b	4,51 b	0,08 c	0,10 b
TK47	50	0,85 a	8,75 b	12,5 a	3,78 a	2,53 b	0,17 c	0,23 b
TK47	100	0,77 a	8,75 b	12,8 a	3,72 a	3,65 b	0,37 b	0,25 b
TK47	150	0,60 b	8,75 b	12,5 a	3,93 a	5,01 b	0,31 b	0,25 b
TK47	250	0,60 b	9,00 b	15,0 a	3,68 a	10,61 a	0,57 a	0,43 a
KCl	50+50	0,77 a	9,75 a	12,9 a	3,12 b	3,87 b	0,11 c	0,12 b
KCl	400	0,73 a	10,50 a	10, 11b	2,72 b	5,61 b	0,34 b	0,33 b
CV (%)		15,39	7,03	19,74	13,98	24,82	48,14	57,18

AR: açúcares redutores; K fol: potássio foliar; Si 0-20: silício a 0-20 cm no solo; Si 20-40: silício a 20-40 cm no solo; K 20-40: potássio a 20-40 cm no solo.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

O AR é considerado um componente das impurezas do caldo de cana que reduz a quantidade relativa da sacarose (Pol), dificulta a exaustão do melão na usina, influencia negativamente na recuperação do açúcar, prejudica a coloração e o processo de cristalização e aumenta o consumo de energia e os custos de produção do açúcar (RIPOLI e RIPOLI, 2004). Otto et al. (2010) observaram resultados similares com doses equivalentes de K₂O a campo nove (9) meses após a aplicação dos tratamentos, onde o aumento da adubação potássica reduziu a presença de AR.

Apenas as aplicações de KCl aumentaram a quantidade de K foliar (Tabela 9), o que pode ser entendido como uma consequência da maior solubilidade dessa fonte. Apesar do processo térmico aplicado ao Verdete para aumentar sua solubilidade, o termopotássio ainda é uma fonte menos solúvel que o KCl, e a liberação do K para a solução do solo é gradual reduzindo as perdas por lixiviação, e mantém sua pronta disponibilidade para a absorção pelas plantas. Em experimento com Latossolo Vermelho distrófico e Neossolo Quartzarênico órtico típico em coluna de lixiviação, foi observado que o K derivado de KCl teve uma lixiviação 87 vezes superior à lixiviação do K proveniente do termopotássio à profundidade de 0,8 m (DUARTE, 2015). Os teores foliares encontrados estão ligeiramente abaixo do nível crítico de resposta (10-16 g kg⁻¹ de K na folha) estipulado por Raij (2011), sendo apenas a dose de 400 kg ha⁻¹ de KCl suficiente para atender a esta demanda.

As doses de termopotássio superiores a 50 kg ha⁻¹ aumentaram a quantidade de Si e Ca disponível na camada de solo de 0 a 20 cm (Tabela 9), o que não é uma situação inesperada, pois o termopotássio é fonte desses dois nutrientes. Este resultado corrobora com os resultados encontrados por Duarte (2012), que também verificou que o termopotássio é capaz de disponibilizar quantidades significativas de Si para a solução do solo. Embora tenha sido verificado aumento no teor de Ca no solo, os valores ainda são pouco expressivos, pois de acordo com Ribeiro et al. (1999), valores abaixo de 4 cmol dm⁻³ são considerados baixos teores de Ca disponível no solo.

A maior dose de TK47 (250 kg ha⁻¹) foi responsável pelas maiores concentrações de K na solução de solo das camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, e também por incremento na concentração de P disponível na camada de solo de 20 a 40 cm (Tabela 9). A fonte KCl, apesar de prontamente disponibilizar K às plantas também o perde mais por lixiviação, uma vez que em solução o íon K⁺ é altamente móvel no solo. Apesar de o termopotássio ser mais solúvel que a rocha que o deu origem (Verdete) ele ainda é menos solúvel que o KCl, e, portanto menos sujeito à lixiviação (MARTINS et al, 2010). Esta situação pode justificar porque a aplicação de dose de K₂O inferior manteve uma quantidade superior de K em solução por mais tempo.

3.1.2 Local 2

As variáveis que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre seus tratamentos no Local 2 (Tabela 8) são comparadas entre si na Tabela 10.

Tabela 10. Avaliação de média dos tratamentos (níveis de TK47 ou KCl) que diferiram na ANAVA ($p < 0,05$) no Local 2 (cana-planta).

Tratamento	K ₂ O kg ha ⁻¹	Colmo ----- t ha ⁻¹ -----	TAH -----	P fol ¹ g kg ⁻¹
Testemunha	0	134,96 b ¹	23,70 b ²	0,16 b ¹
TK47	50	151,89 a	25,44 ab	0,18 b
TK47	100	158,77 a	26,21 ab	0,29 b
TK47	150	155,72 a	25,96 ab	0,41 a
TK47	250	167,50 a	28,22 a	0,53 a
KCl	50+50	158,52 a	26,07 ab	0,15 b
KCl	400	163,40 a	27,10 ab	0,21 b
CV (%)		5,44	6,42	7,14

Colmos: produção de colmos por hectare; TAH: toneladas de açúcar por hectare; P fol: fósforo foliar.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.
2. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância

A produtividade de colmos foi inferior (134,96 t ha⁻¹) apenas quando nenhuma fonte de K foi aplicada (Tabela 10). Numericamente a produtividade mais elevada (167,50 t ha⁻¹) foi observada para a maior dose de termopotássio (250 kg ha⁻¹). Quando as condições de disponibilidade de água, radiação solar e de temperaturas são adequadas, o fator limitante ao desenvolvimento da cana-de-açúcar passa ser o fornecimento de nutrientes minerais, que pode afetar o aumento no acúmulo de biomassa das plantas (DONALDSON et al., 2008; HEERDEN et al., 2010).

A quantidade de açúcar produzida por hectare (TAH) produzida pela maior dose de termopotássio (250 kg ha⁻¹) foi cerca de 16% superior à não aplicação de qualquer fonte de K (Tabela 10). A produção de açúcar da maior dose de termopotássio, equivalente a 250 kg ha⁻¹ de K₂O, foi estatisticamente equivalente à produção de açúcar da dose de 400 kg ha⁻¹ de K₂O aplicados como KCl. Este resultado indica como a fonte termopotássio é eficiente para o resultado final do cultivo da cana-de-açúcar, produzindo os resultados similares à dose superior da fonte KCl.

O P foliar foi superior nas doses de 150 e 250 kg ha⁻¹ de termopotássio, diferindo das demais doses ou das doses com a fonte KCl (Tabela 11). Contudo os teores foliares de P encontrados estão abaixo do nível crítico de resposta (1,5 - 3 g kg⁻¹ de P na folha) estipulado por Raij (2011), não sendo qualquer dose ou fonte suficiente para atender esta demanda.

Tabela 11. Avaliação de média dos tratamentos (níveis de TK47 ou KCl) que diferiram na ANAVA ($p < 0,05$) no Local 2 (cana-planta).

Tratamento	K ₂ O	Si 0-20	Si 20-40	P 0-20 ¹	P 20-40	Ca 0-20	K 0-20	K 20-40
	kg ha ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----				----- cmolc dm ⁻³ -----		
Testemunha	0	11,83 b ¹	11,58 c	9,63 b	9,31 b	4,80 b	0,16 b	0,14 b
TK47	50	12,29 b	11,84 c	13,96 a	13,42 ab	5,64 ab	0,19 b	0,18 b
TK47	100	13,70 b	14,42 b	14,82 a	13,23 ab	6,11 a	0,29 b	0,29 b
TK47	150	15,20 a	14,52 b	12,29 b	13,65 ab	5,87 ab	0,49 a	0,41 a
TK47	250	15,77 a	17,68 a	16,56 a	17,54 a	6,35 a	0,41 a	0,53 a
KCl	100	12,38 b	12,25 c	12,42 b	16,17 ab	5,51 ab	0,20 b	0,15 b
KCl	400	12,36 b	11,54 c	11,01 b	12,95 ab	5,62 ab	0,19 b	0,21 b
CV (%)		11,64	12,64	13,81	22,94	41,06	9,64	51,99

Si 0-20: silício a 0-20 cm no solo; Si 20-40: silício a 20-40 cm no solo; Ca 0-20: cálcio a 0-20 cm no solo; P 0-20: fósforo a 0-20 cm no solo; K 0-20: potássio a 0-20 cm no solo; K 20-40: potássio a 20-40 cm no solo.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

As maiores quantidades de Si na camada de solo de 0 a 20 cm foram para os tratamentos com termopotássio nas doses de 150 e 250 kg ha⁻¹, enquanto que na profundidade de 20 a 40 cm apenas a dose de 250 kg ha⁻¹ de termopotássio apresentou a maior quantidade de Si (Tabela 11). Estes resultados demonstram que o termopotássio pode suprir quantidades significativas de Si ao solo, porém as concentrações de Si no solo encontradas neste estudo estão acima da concentração de Si considerada alta por Korndörfer et al. (1999). Onde não ocorreu a aplicação de uma fonte de Si (termopotássio), a quantidade do nutriente já presente na solução do solo de qualquer das camadas de solo estudadas ($> 11 \text{ mmol dm}^{-3}$ ou $> 308 \text{ mg dm}^{-3}$) é considerada alta e plenamente suficiente para suprir o desenvolvimento da cana-de-açúcar (Korndörfer et al. 1999).

A menor quantidade de Ca observada na camada de solo de 0 a 20 cm foi quando nenhuma fonte de K foi aplicada, enquanto que as maiores quantidades foram observadas quando foi aplicado termopotássio nas doses de 100 ou 250 kg ha⁻¹ (Tabela 11). A presença de Ca em solução nos tratamentos com KCl, similar à quantidade de Ca observada para as doses de termopotássio (fonte de Ca) superiores a 50 kg ha⁻¹, sugere que a presença do cátion K⁺ em solução advindo de uma fonte altamente solúvel de K (KCl) pode ter deslocado para a solução o Ca⁺⁺ trocável das argilas por efeito de concentração. Efeito similar desse deslocamento do Ca⁺⁺ e outros cátions por efeito de

concentração do K^+ também foi observado por Nunes et al. (1982) em tratamentos incluindo a aplicação de vinhaça rica em K.

A quantidade de P no solo foi elevada para a dose de 250 kg ha^{-1} de termopotássio em ambas as profundidades de solo avaliadas (0 a 20 e 20 a 40 cm), sempre diferindo da quantidade de P encontrada no solo onde nenhuma fonte de K foi aplicada (Tabela 11). Mesmo que essas diferenças ocorreram entre os tratamentos a menor quantidade de P em solução observada para ambas as camadas de solo ($> 9 \text{ mmol dm}^{-3}$ ou $> 271 \text{ mg dm}^{-3}$) já é bastante superior à maior classe de interpretação da disponibilidade para o P (alta disponibilidade) pelo método Melich-1 e de acordo com o teor de argila do solo que no Local 1, que está entre 36 e 60% (RIBEIRO et al. 1999).

Em ambas as profundidades de solo avaliadas (0 a 20 e 20 a 40 cm) as maiores quantidades de K foram observadas somente nas doses de termopotássio de 150 e 250 kg ha^{-1} . A menor solubilidade do termopotássio em relação ao KCl possibilitou a sua liberação gradual e manutenção de alta concentração na solução do solo em relação aos demais tratamentos. Mesmo doses inferiores de K_2O provenientes do termopotássio foram suficientes para incrementar significativamente a disponibilidade de K em ambas as profundidades de solo avaliadas.

A baixa quantidade de K trocável presente onde houve a adubação potássica com KCl é provavelmente devido à alta solubilidade dessa fonte que disponibiliza todo o K, e também o Cl em um curto espaço de tempo, e também ao próprio ânion Cl que é pouco retido no solo; podendo se ligar a cátions como Ca, Mg e K e, com isso, carregá-los no perfil do solo a profundidades maiores (CHAVES; LIBARDI, 1995; RAJI et al. 2011).

3.1.3 Local 3

A variável Brix apresentou diferenças significativas entre todos os tratamentos em cana-planta no Local 3 e é apresentada na tabela 12.

Tabela 12. Brix dos tratamentos (níveis de TK47 ou KCl) no Local 3 (cana-planta).

Tratamento	Dose de K ₂ O kg ha ⁻¹	Brix %
TK47	0	20,83 a ¹
TK47	50	20,43 ab
TK47	100	19,68 b
TK47	150	20,64 ab
TK47	250	20,91 a
KCl	100	20,39 ab
KCl	400	20,32 ab
CV (%)		2,17

Brix: sólidos solúveis em solução de sacarose pura.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O Brix refere-se a todos os açúcares contidos no caldo e foi a única variável tecnológica que apresentou diferenças significativas na comparação entre todos os tratamentos no Local 3 (Tabela 12). Apesar de serem identificadas diferenças entre os tratamentos para essa variável a diferença entre o menor (100 kg ha⁻¹ de K₂O pelo termopotássio) e o maior (250 kg ha⁻¹ de K₂O pelo termopotássio) Brix encontrado foi de cerca de 6%.

Os valores de Brix encontrados nessa usina (Local 3) são similares aos relatados por Uchôa et al. (2009) e Tironi et al. (2012) que estudaram diferentes variedades de cana-de-açúcar em diferentes doses de K e herbicidas, respectivamente. Segundo Marques et al. (2001), valores inferiores a 18% para °Brix indicam que a cultura ainda não está madura para colheita, o que não foi o caso para nenhum tratamento. A maior dose de termopotássio (250 kg ha⁻¹ de K₂O) apresentou Brix similar a não aplicação de qualquer das fontes de K, indicando que a fertilidade do solo no Local 3 seria suficiente para produzir um Brix similar a aplicação de qualquer uma das fontes ou doses estudadas nesta Usina.

3.5 Comparações entre as doses de termopotássio

Os resultados do teste de *F* e sua significância na ANAVA das doses de TK47 para todas as variáveis analisadas em cana-planta nas três usinas são apresentados na tabela 13.

Tabela 13. Teste de *F* da ANAVA entre todas as doses de TK47 em cana-planta calculado como delineamento de blocos casualizados.

	Local 1	Local 2	Local 3
Perf.	0,187		
Fal.	0,897	0,654	2,614
Alt.	0,560		
Diam.	1,260		
Colmo	0,542	12,216**R	1,250
Brix	0,253	1,457	4,681*M
Fibra	2,612	0,404	1,286
AR	12,108**R	0,100	3,552*M
Pol. Cana	1,097	0,709	2,658
Pureza	0,871	0,055	2,648
ATR	0,670	0,787	4,017*M
TAH	0,393	4,039*R	2,085
N fol	0,168	0,662	
P fol	1,547	1,322	2,003
K fol	0,120	2,478	1,239
Ca fol	0,715	1,245	1,863
Mg fol	0,414	0,176	1,615
pH 0.20	1,926	4,255*R	
pH 20.40	1,723	1,836	
Si 0.20	6,651**R	4,827*R	
Si 20.40	2,177	8,172**R	
Ca 0.20	1,113	4,110*R	
Ca 20.40	1,087	3,609*R	
Mg 0.20	1,434	0,880	
Mg 20.40	1,350	2,318	
P 0.20	1,394	6,949**M	
P 20.40	23,081**R	5,726**R	
K 0.20	17,775**R	5,511**R	
K 20.40	3,251	3,839*R	

1. Perf.: número perfilhos por metro; Fal.: número de falhas por metro; Alt.: altura média da planta; Diam.: diâmetro de cana; Colmo: cana por hectare; Brix: sólidos solúveis em solução de sacarose quimicamente pura; Fibra: eficiência de extração da moenda; AR: açúcares redutores; Pol.: teor de sacarose aparente na cana; Pureza: Pol./Brix x 100; ATR: açúcar total recuperável; TAH: toneladas de açúcar por hectare; N fol: nitrogênio foliar; P fol: fósforo foliar; K fol: potássio foliar; Ca fol: cálcio foliar; Mg fol: magnésio foliar; pH 0.20: pH em água (2,5:1) a 0-20 cm no solo; pH 20.40: pH em água (2,5:1) a 20-40 cm no solo; Si 0.20: silício a 0-20 cm no solo; Si 20.40: silício a 20-40 cm no solo; Ca 0.20: cálcio a 0-20 cm no solo; Ca 20.40: cálcio a 20-40 cm no solo; Mg 0.20: magnésio a 0-20 cm no solo; Mg 20.40: magnésio a 20-40 cm no solo; P 0.20: fósforo a 0-20 cm no solo; P 20.40: fósforo a 20-40 cm no solo; K 0.20: potássio a 0-20 cm no solo; K 20.40: potássio a 20-40 cm no solo.

* ou **. Valores do Teste de *F* seguidos por ‘*’ ou ‘**’ indicam diferenças entre os níveis de TK47 e foram testadas por Skott-Knott a 5 e 1% de significância, respectivamente.

R. Valores do Teste de *F* seguidos por ‘R’ indicam que os níveis de ‘TK47’ adequaram regressão polinomial (5% de significância e $R^2 \geq 0,7$).

M. Valores do Teste de F seguidos por 'M' indicam que os níveis de 'TK47' não adequaram regressão polinomial (5% de significância e $R^2 \geq 0,7$) e foram testadas pelo teste de médias de Tukey a 5% de significância.

3.2.1 Local 1

A análise de regressão das variáveis avaliadas no Local 1 (Tabela 13) apresentou significância ($p < 0,05$) e adequação do modelo polinomial ao conjunto de dados ($R^2 > 0,7$) para açúcares redutores do caldo (Figura 7) a quantidade Si e K na camada de solo de 0 a 20 cm (Figura 8) e a quantidade de P na camada de solo de 20 a 40 cm (Figura 8).

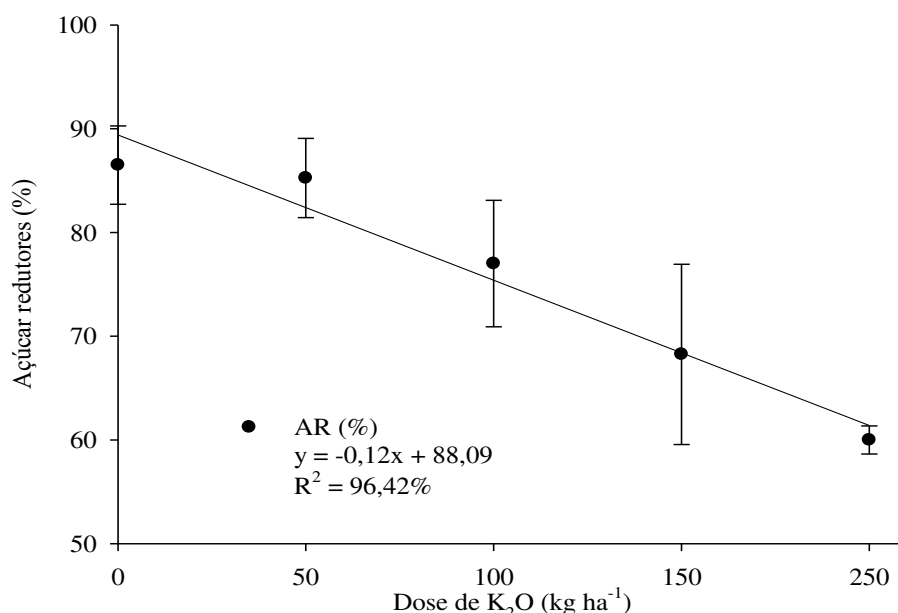


Figura 7. Teores de açúcares redutores em cana de açúcar na Usina 1 (cana-planta).

A quantidade de açúcares redutores (impurezas do caldo de cana) sem a aplicação de termopotássio é de aproximadamente 88%, reduzindo 0,12% para cada quilograma de termopotássio aplicada por hectare. Este resultado indica que a aplicação de termopotássio contribui para reduzir os AR presentes no caldo. Esse efeito não é devido exclusivamente ao K contido na fonte, pois as doses de KCl apresentaram resultados similares às menores doses de termopotássio (Tabela 9). A redução da concentração de AR é provavelmente um efeito dos demais nutrientes contidos no termopotássio e também do seu efeito corretor do pH do solo, pois o termopotássio é produzido a partir da adição do carbonato de cálcio (LEITE, 1985; Duarte, 2012).

Os teores no solo de Si, K e P no solo do Local 1 são apresentados a seguir.

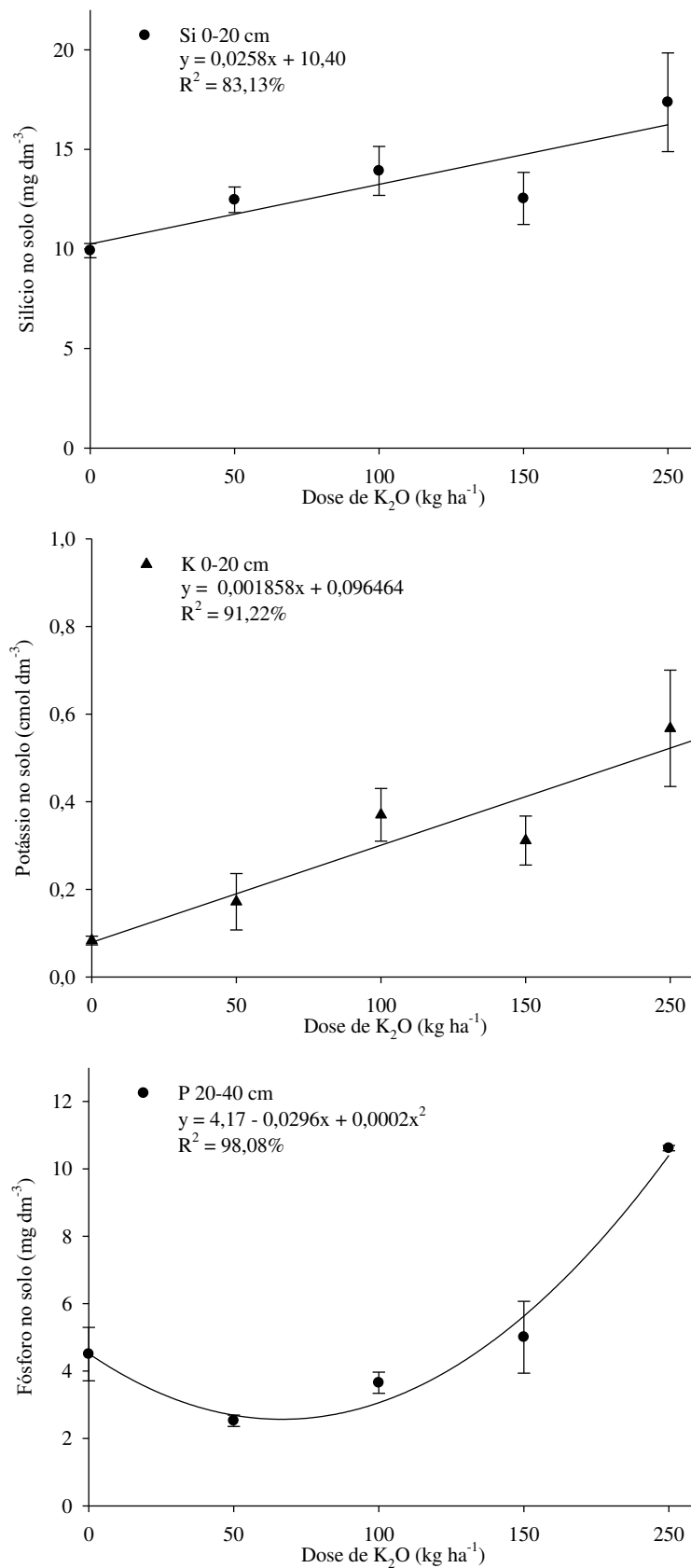


Figura 8. Teores de silício e potássio no solo entre 0 e 20 cm e fósforo no solo entre 20 e 40 cm no Local 1 (cana-planta).

A quantidade de Si e K na camada de solo de 0 a 20 cm sem a aplicação de termopotássio é de 10,40 mg dm⁻³ e 0,096 mg dm⁻³, aumentando cerca de 0,258 mg dm⁻³ e 0,0019 cmol dm⁻³ para cada quilograma de termopotássio aplicada por hectare, respectivamente. A quantidade de P na camada de solo de 0 a 20 cm aumenta a partir da 3,18 mmol dm⁻³ com a aplicação de termopotássio a uma dose de 66,43 kg ha⁻¹ de K₂O.

O termopotássio foi capaz de incrementar a disponibilidade de Si e K no solo com o incremento de sua dose, assim como observado por Duarte (2012). Os valores observados de silício no solo são considerados medianos estando acima de 6 mg dm⁻³ (KORNDÖRFER et al. 1999). O incremento observado nos teores de K no solo é classificado como baixos (< 30 mg dm⁻³) para qualquer dose encontrados neste Local 1 (SCHLINDWEIN et al. 2011).

O termopotássio é fonte de Si e K e, portanto incrementos na dose dessa fonte irão produzir incrementos na concentração desses nutrientes no solo. O aumento da disponibilidade de P no solo com o incremento das doses de termopotássio é um efeito que pode ser associado ao poder corretivo dessa fonte que neutraliza as cargas positivas e sítios de adsorção do P no solo, disponibilizando-o na solução.

3.2.2 Local 2

A produção de colmos e de açúcar no Local 2 apresentaram regressões lineares significativas ($p < 0,05$) com incrementos proporcionais às doses aplicadas (Figura 9).

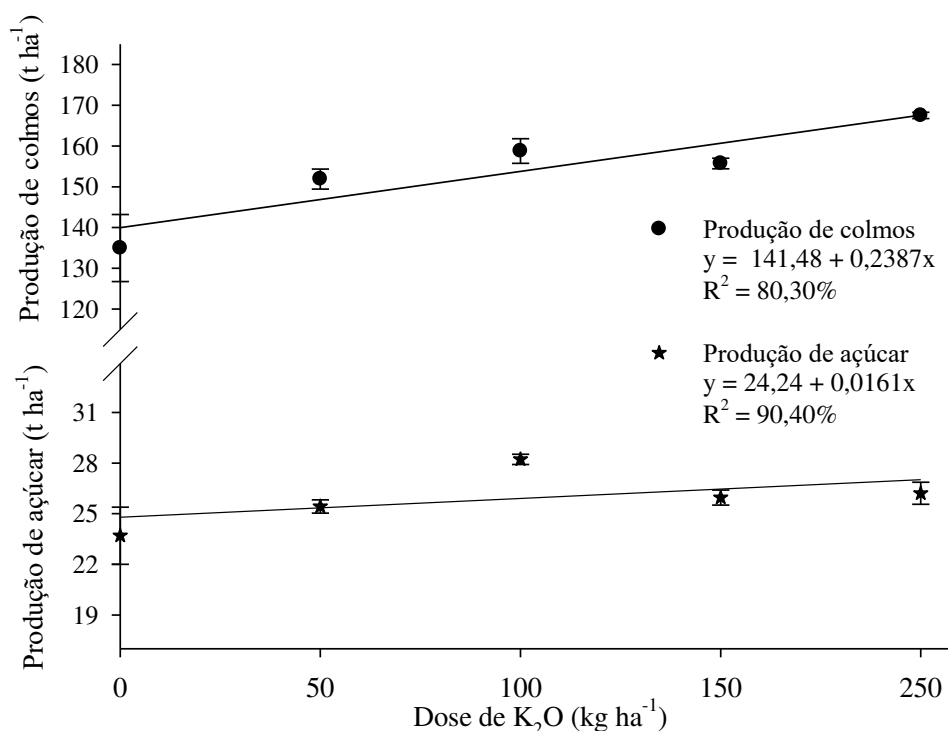
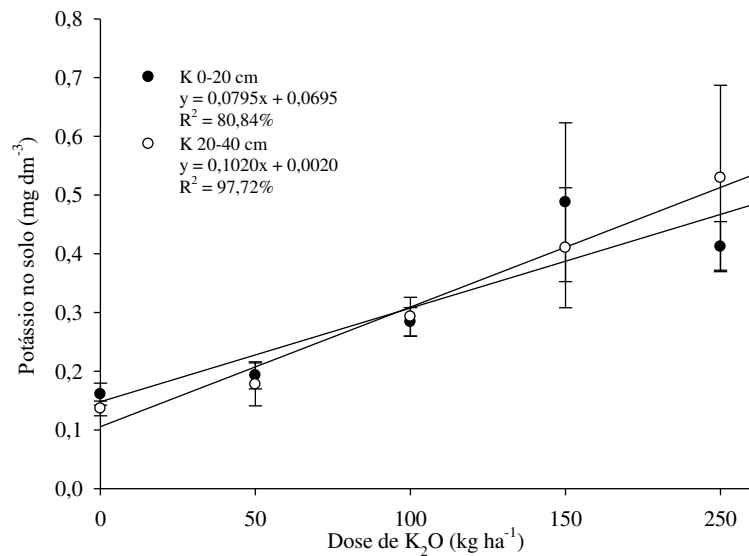
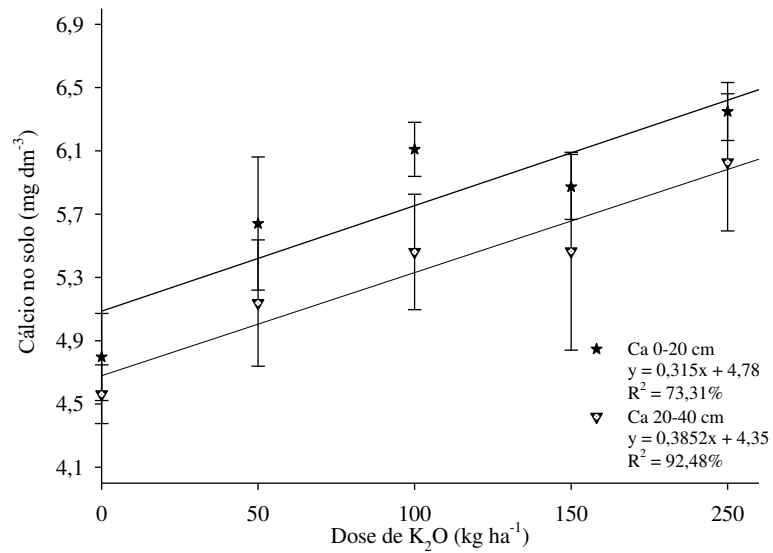
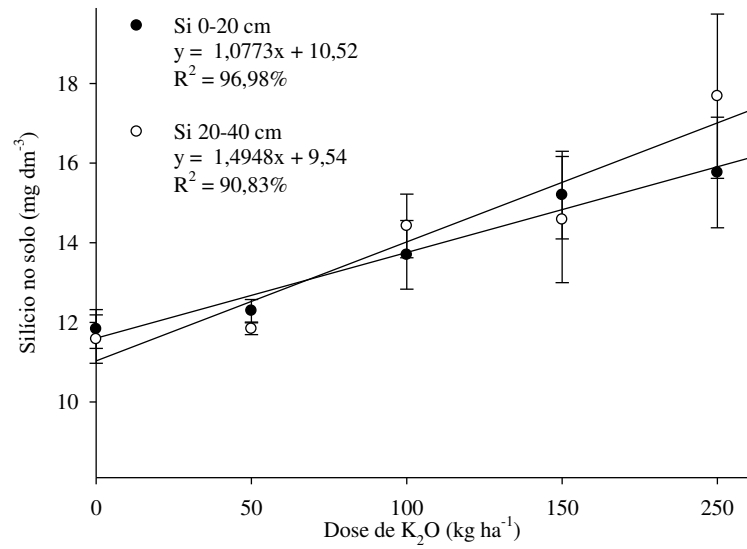


Figura 9. Produção de colmos e de açúcar de cana de açúcar no Local 2 (cana-planta).

A produção de colmos e de açúcar sem a aplicação de termopotássio é de 134,96 e 24,24 t ha⁻¹, aumentando em 239 e 16 kg de colmo e açúcar para cada quilograma de termopotássio aplicada por hectare, respectivamente. Estes ganhos de produção estão de acordo com Weber et al. (2001) e Otto et al. (2010), que relatam o efeito positivo na produtividade da cana-de-açúcar com acréscimos na adubação potássica. Rossetto et al. (2004) obtiveram respostas lineares ao K, tanto para cana-planta como em cana-soca, enquanto que Azeredo et al. (1984) não conseguiram respostas consistentes das soqueiras à adubação potássica.

Os resultados observados para a produção de colmos, mesmo quando nenhum fertilizante foi aplicado (0 kg ha⁻¹), são superiores às produções encontradas por Gava et al. (2011), que observaram uma produção de 115,8 t ha⁻¹ em cana-planta quando 220 kg ha⁻¹ de K₂O foram aplicados. Este resultado indica que o solo no Local 2 é suficientemente fértil para produzir elevadas quantidades de colmo por área.

Os teores no solo de Si, Ca, K e P no solo do Local 2 são apresentados a seguir.



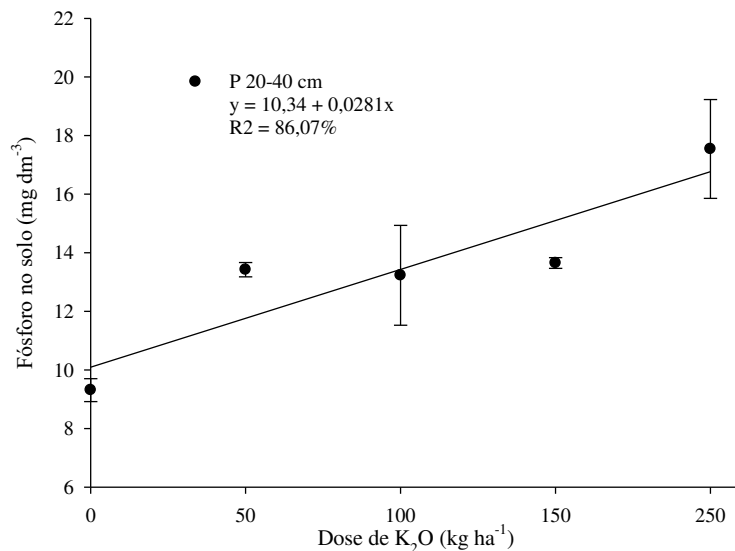


Figura 10. Teores de silício, cálcio e potássio entre 0 a 20 e entre 20 a 40 cm no solo, e fósforo entre 20 a 40 cm no Local 2 (cana-planta).

A quantidade de Si, Ca e K e na camada de solo de 0 a 20 e de 20 a 40 cm sem a aplicação de termopotássio é $10,52 \text{ mg dm}^{-3}$, $4,78 \text{ cmol dm}^{-3}$, $0,0695 \text{ cmol dm}^{-3}$ e $9,54 \text{ mg dm}^{-3}$, $4,35 \text{ cmol dm}^{-3}$, $0,002 \text{ cmol dm}^{-3}$ aumentando cerca de $1,08 \text{ mg dm}^{-3}$, $0,315 \text{ cmol dm}^{-3}$, $0,08 \text{ cmol dm}^{-3}$ e $1,49 \text{ mg dm}^{-3}$, $0,385 \text{ cmol dm}^{-3}$, $0,102 \text{ cmol dm}^{-3}$ de Si, Ca e K para cada quilograma de termopotássio aplicada por hectare, respectivamente. Duarte (2015) também relatou incrementos na disponibilidade desses nutrientes no solo com o uso do mesmo termopotássio utilizado neste estudo (TK47). A autora também observou que o termopotássio promoveu incrementos no pH do solo, assim como também havia relatado Duarte (2012).

Este efeito corretivo do termopotássio pode ser responsável pelo incremento na quantidade de P na camada de 20 a 40 cm. A quantidade de P nesta camada e sem a aplicação de termopotássio é de $10,34$ aumentando cerca de $0,0281$ g para cada quilograma de termopotássio aplicada por hectare.

Apenas o pH da solução do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade apresentou regressão significativa ($p < 0,05$), sendo apresentada na figura a seguir (Figura 11).

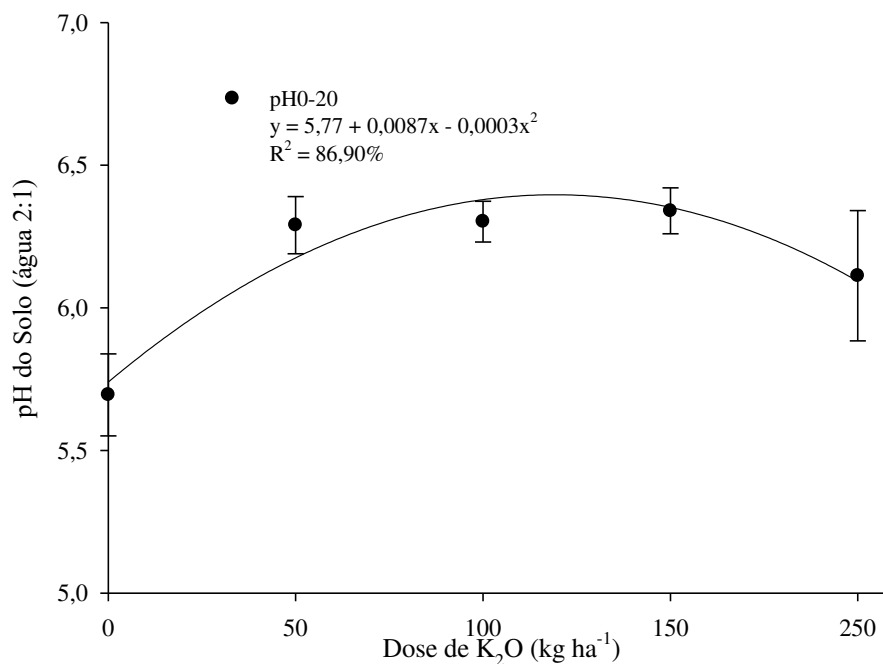


Figura 11: pH da solução do solo de 0 a 20 cm (2:1) no Local 2 (cana planta).

A aplicação de termopotássio até 145 kg ha⁻¹ de K₂O pode elevar o pH do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade para 6,4, um valor consideravelmente superior ao pH do solo no início do experimento (pH = 5,7). Este resultado corrobora com o observado por Duarte (2012 e 2015), em que a aplicação de termopotássio corrigiu o pH da solução do solo. Os valores de pH da solução do solo observados na camada de 0-20 cm em cana-planta, estão na faixa considerada adequada, de 5,5 a 6,5 (RAIJ, 2011).

Tabela 14. Avaliação da concentração de P na camada superior de solo no Local 2 (cana-planta).

Fonte	Dose de K ₂ O kg ha ⁻¹	P 0-20 mg dm ⁻³
TK47	0	9,63 b
	50	13,96 ab
	100	14,82 a
	150	12,29 ab
	250	16,56 a
CV (%)		14,86

P 0-20: fósforo a 0-20 cm no solo.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Conforme apresentado na tabela 14, a aplicação de 250 kg ha⁻¹ de termopotássio aumentou em 54% o fósforo no solo na camada de 0 a 20 cm em relação a não aplicação. Essa tendência de aumento da quantidade de P na solução do solo pode estar associado ao aumento do pH do solo decorrente do efeito corretivo do termopotássio.

3.2.3 Local 3

As variáveis quantidade de açúcares redutores, açúcar total recuperável e Brix para as doses de TK47 em cana-planta no Local 3 são apresentados na tabela 15, pois apresentou significância ($p < 0,05$), porém sem adequação de modelo polinomial ao conjunto de dados ($R^2 < 0,7$).

Tabela 15. Avaliação de média dos tratamentos com TK47 que não adequaram regressão polinomial ($p < 0,05$ e $R^2 \geq 0,7$) no Local 3 (cana-planta).

Fonte	Dose de K ₂ O kg ha ⁻¹	AR %	ATR kg t ⁻¹	Brix %
TK47	0	49,0 ab ¹	157,51 a	20,83 a
	50	51,0 ab	154,45 ab	20,43 ab
	100	53,5 a	147,86 b	19,68 b
	150	48,8 b	155,85 ab	20,64 ab
	250	49,5 ab	157,55 a	20,91 a
CV (%)		4,14	2,58	2,24

AR: açúcares redutores; Brix: sólidos solúveis em solução de sacarose quimicamente pura; ATR: açúcar total recuperável.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A fertilidade do Local 3, com elevada CTC e saturação por bases, e alta concentração de K trocável no solo (Tabela 7) pode não ter permitido o destaque dos benefícios da aplicação de doses do termopotássio.

Um pico de AR foi observado para a dose de 100 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo 12,5% superior ao AR da dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O. Apesar de também serem identificadas diferenças entre os tratamentos para a variável ATR, maior dose de K₂O (250 kg ha⁻¹) apresentou ATR similar a não aplicação de K₂O. A maior ATR observada foi 6,6% superior à menor ATR observada.

A diferença entre o menor (100 kg ha⁻¹ de K₂O) e o maior (250 kg ha⁻¹ de K₂O) valor encontrado para a variável Brix foi de cerca de 6%. O Brix observado para todas as

doses de termopotássio são similares aos relatados por Uchôa et al. (2009) e Tironi et al. (2012), e são superiores a 18% sendo, portanto considerados suficientes para a colheita (MARQUES et al. 2001). A maior dose de K_2O (250 kg ha^{-1}) apresentou Brix similar a não aplicação de termopotássio.

CONCLUSÕES

As variáveis que apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) nas usinas estudadas apresentaram resultados favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar com a aplicação de termopotássio TK47;

A aplicação de doses menores de K_2O como termopotássio apresentou resultados similares ou superiores à 400 kg ha^{-1} de K_2O aplicado como KCl;

A aplicação do termopotássio TK47 é uma excelente alternativa para o fornecimento de K e outros nutrientes (Ca, Mg, Si) para a cana-planta.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. V.; ZAGO, E. A.; MORAES, M. J. R. Determinação de ART e AR em caldo, mosto, vinho e méis pelo método colorimétrico de Somogyi e Nelson. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 1., 1979, Maceió. **Anais ... Maceió: STAB**, 1979. v. 1, p. 94-97.
- AZEREDO, D. F.; ROBAINA, A. A.; ZANOTTI, N. E. Adubação mineral em cana-de-açúcar no Estado do Espírito Santo. *Saccharum – STAB*., São Paulo, v.7, n.30, p.39-43, 1984.
- BORGES, W.L.; PASSOS, S.R.; ALMEIDA, A.M.; PEIXOTO, R.T.G.; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R. Efeito da aplicação de rochas silicáticas sobre a comunidade microbiana durante o processo de compostagem. **Espaço & Geografia**, Barsília v.9, p. 195- 214,2006.
- CHAMBERS, J.; CLEVELAND, W.; KLEINER, B.; TUKEY, P. Graphical methods for data analysis. Pacific Grove, CA: Wadsworth e Brooks/Cole, 1983. 395 p.
- CHAVES, L.H.G.; LIBARDI, P.L. Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.19 p.145-148, 1995.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 110 p.
- DONALDSON, R.A.; REDRSHAW, K.A.; RHODES, R.; ANTWERPEN, R. Van. Season effects on productivity of some commercial south African sugarcane cultivars, I: Biomass and radiation use efficiency. **Proceedings of the Annual Congress – South African Sugar Technologists’ Association**, Durban, v. 81, p. 517-527, 2008.
- DUARTE, I. N. **Fonte alternativa de potássio para adubação da cana-de-açúcar**. 2015. 199 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
- DUARTE, I. N. Termopotássio: **Fertilizante alternativo para a Agricultura brasileira**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de pesquisa de solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1999, 212p.
- EPA- Environmental Protection Agency, USA. **Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (METHOD 3052)**. U.S. EPA, 20p, December,1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 20 setembro. 2016.
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2000. 193p.
- FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

FIGUEIRA, J. L. G. **Eficiência agrônômica do termofosfato potássico fundido: estudo experimental em casa de vegetação, campo e colunas de lixiviação**. 1994. 80f. Dissertação (Mestrado em mineralogia e petrologia) – Universidade de São Paulo, Instituto de geociências, São Paulo, 1994.

FIGUEIREDO, P. A. M. Particularidades a respeito do potássio. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.24, n.6, p.25, 2006.

FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canal. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, p. 249-256, 2007.

GAVA, G.J DE C.; SILVA, M.DE A.; SILVA, R.C.DA; JERONIMO, E.M; CRUZL, J.C.S. KÖLLN, O.T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

HEERDEN, P.D.R. Van; DOLNALDSON, R.A.; WATT, D.A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unraveling the factors underpinning reduced growth phenomena, **Journal of Experimental of Botany**, Oxford, v. 61, p. 2877-2887, 2010.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erq144>

KAHN, H; TASSINARI, M.N; ANTONIASSI, J. L. Estudo de caracterização mineralógica em amostra de Verdete, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de Caracterização Tecnológica. 11 de maio de 2011 (Relatório interno –Verde Fertilizantes Ltda, maio de 2011).

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H. ; MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de Silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 23, v. 1, p. 101-106, 1999.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000100013>

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

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de Silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (**Boletim Técnico**, 2).

KORNDÖRFER, G. H.; RAMOS, L.A. Diagnose Foliar em Cana-de-açúcar. In: PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; VALE, D.W.; CORREIA, M.A.R. ; SOUZA, H.A. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FUNDUNESP, 2008. v.1. 301p.

LEITE, P. da C. **Efeito de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo**. 1985. 160f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Pós-graduação em Agronomia, Escola superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.

LEVENE, H. Robust Tests for the equality of variance. In: Olkin, I (Ed.) **contributions to probability and statistics**, Palo Alto, California: Stanford University Press, 1960. P.278 – 292.

MAPA,Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 2007.**Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília, DF, Brasil.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do Açúcar. Produção e Industrialização da Cana-de-açúcar**. Jaboticabal Funep, 2001. 166 p.

MARTINS, E.S., OLIVEIRA, C.G., RESENDE, A.V., MATOS, M.S.F. Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para a Agricultura. In: **Rochas e Minerais Industriais – usos e especificações** / Ed. Adão Benvindo da Luz e Fernando Antonio Freitas Lins. 2Ed. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, Cap. 9, p. 205-221. 2010.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C., MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. IN: LAPIDO LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.) **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 385-395.

MORETTI, B. S. **Calcinação do Verdete e Caracterização do Seu Potencial de Uso Agrícola como Fonte de Potássio**. Lavras, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas – UFLA, 2012. Dissertação de mestrado, 75 p.

NUNES, M.R.; LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo: III. potássio, cálcio e magnésio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília,17:371-374,1982.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, MG, v. 34, n. 4, p. 1137-1145, jul./ago., 2010.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400013>

PIZA, P. A.T.; BERTOLINO, L. C.; SILVA, A.A.S.; SAMPAIO J. A.; LUZ, A. B. Verdete da região do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para Potássio. **Geociências**, São Paulo, 30:345-356, 2011.

RAIJ,B .van. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicba-SP, International Plant Nutrition Institute, 2011,420 p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H.V. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros e Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Fertilidade do solo e**

nutrição de plantas. *Bragantia*, Campinas, v.63, n.1, p.105-119, 2004.

<https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000100011>.

SCHENEIDER, F. **Sugar Analysis ICUMSA methods.** Peterborough: ICUMSA, 1979, p.265.

SCHLINDWEIN, J. A, BORTOLON, L.; GIANELLO, C Calibração de métodos de extração de Potássio em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35 p.1669-1677, 2011.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M.A. 1974. **A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance.** *Biometrics*, Raleigh, 30(3):507-512.

<https://doi.org/10.2307/2529204>

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, Oxford, RU, v. 52, p. 591-611, 1965.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian Planter's Record**, Honolulu, v. 51, n. 2, p. 133-150, 1969.

TIRONI, S. P; GALON, L.; FARIAS, A. T; SILVA, A.A da; BARBOSA, M.H.P; Produtividade e qualidade da matéria prima de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicida.*, Londrina, v.11, n.1, p.32-41, jan./abr. 2012.

TUKEY, J.W. **Exploratory data analysis.** Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company. 688 p. 1977.

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 Agronômica*, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-513, 2009.

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. Editora: UFPR. **Scientia Agrária**, v.2, n.1-2, p.73-77, 2001.

<https://doi.org/10.5380/rsa.v2i1.980>.

CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DE TERMOPOTÁSSIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-SOCA)

RESUMO

ASSIS, RAFAEL TADEU. **Avaliação de termopotássio na cultura da cana-de-açúcar (cana-soca)**. 2018. 42 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

A cultura da cana-de-açúcar é altamente exigente em potássio, um nutriente que precisar ser largamente importado. Outras fontes alternativas de potássio podem supri-lo, mas seus resultados na cana-de-açúcar ainda são pouco estudados. Assim, objetivo desse estudo foi avaliar atributos tecnológicos da cana, a produtividade, atributos químicos foliares e do solo na cana planta, pela aplicação do termopotássio a lanço em área após o primeiro corte da cana-de-açúcar. Esse experimento de campo foi conduzido em três áreas comerciais de produção de cana-de-açúcar nos estados de Goiás e São Paulo. As avaliações de solo e planta ocorrerão cerca de oito meses após a instalação dos experimentos. As variáveis como N foliar, o K, Mg, P e Si no solo apresentaram incrementos regulares nos locais estudados com a aplicação de termopotássio TK47. A aplicação de doses menores de K₂O como termopotássio apresentou resultados similares ou superiores à aplicação de KCl, mesmo em diferentes condições de disponibilidade de nutrientes como Ca e o P. A aplicação do termopotássio TK47 é uma alternativa para o fornecimento de K e outros nutrientes (Ca, Mg, Si) para a cana-soca.

Palavras-chave: potássio, adubação, atributos tecnológicos, *Saccharum officinarum* L.

¹ Professor orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU

CHAPTER 3 - EVALUATION OF THERMOPOTASIS IN THE CULTURE OF SUGAR CANE

ABSTRACT

ASSIS, RAFAEL TADEU. **Evaluation of thermopotasis in the culture of sugar cane.** 2018. 42 p. Thesis (PhD. in Agronomy) - Federal University of Uberlândia.²

The sugarcane crop is highly demanding in potassium, a nutrient that needs to be largely imported. Other alternative sources of potassium can deliver it, but their results in sugar cane are still little studied. Thus, the objective of this study was to evaluate technological attributes of sugarcane, productivity, chemical attributes of the leaf and soil by the application of thermopotassium after the first sugarcane harvest. This field experiment was carried out in three commercial areas of sugarcane production in the states of Goiás and São Paulo. Evaluations of soil and plant occurred approximately eight months after the installation of the experiments. Variables such as leaf N, K, Mg, P and Si in the soil presented regular increments in the locations studied with the application of the TK47 thermopotassium. The application of lower doses of K₂O as TK47 thermopotassium presented results similar or superior to the application of KCl, even in different conditions of nutrients availability such as Ca and P. The application of TK47 thermopotassium is an alternative to the provision of K and other nutrients (Ca, Mg, Si) to ratoon sugarcane.

Keywords: potassium, fertilizing, technological attributes *Saccharum officinarum* L.

²Adviser: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU

1 INTRODUÇÃO

O nutriente potássio (K) é o mais absorvido e exportado pela cultura da cana-de-açúcar e também está associado à qualidade de sua produção (FRANCO et al., 2007). A principal fonte desse nutriente para a fertilização do solo é o cloreto de potássio (KCl). Contudo o KCl apresenta elevado índice salino e baixo efeito residual. Outra fonte alternativa para o K aplicado na agricultura, são os termo-fertilizantes, como o termopotássio. O termopotássio é fabricado a partir da calcinação do Verdete [rocha metassedimentar que contem 7% e 14% de K_2O (PIZA et al., 2009)] com carbonato de cálcio (Ca), sendo também um fertilizante que é fonte de outros nutrientes.

O termopotássio foi capaz de fornecer K, Ca, magnésio (Mg) e silício (Si) ao milho, cultivadas em Latossolo e Neossolo (DUARTE, 2012). O termopotássio também foi capaz de disponibilizar K ao milho no segundo cultivo da cultura. Este efeito residual é muito importante para a cultura da cana-de-açúcar que apresenta ciclo relativamente longo e se beneficiaria dessa liberação gradual de nutrientes.

Além do efeito residual do termopotássio, outro benefício de seu uso é seu baixo índice salino, o que permite a aplicação de elevadas doses do fertilizante no fundo do sulco de plantio sem a necessidade do parcelamento da adubação. Os nutrientes no termopotássio estão menos sujeitos às perdas por lixiviação devido à liberação dos nutrientes a uma taxa mais compatível com as demandas das plantas.

Porém essa dinâmica de liberação dos nutrientes pode variar de acordo com o tipo de solo. A lixiviação dos nutrientes no perfil do solo é maior em solos de textura arenosa do que nos de textura argilosa (RAJI, 2011), pois quanto menor a partícula do solo, maior a superfície específica, maior a retenção de cátions e menores são as perdas de K, Ca, Mg e Si. Outra característica de solos arenosos é a presença de grandes quantidades de Si total, que é altamente insolúvel (SiO_2), tornando a aplicação de fonte silicatada, como o termopotássio, essencial para elevadas produções agrícolas.

Dessa forma, o termopotássio pode ser um fertilizante eficiente para disponibilizar gradativamente K, Ca, Mg e Si em diferentes condições de solo e de clima, apresentando resultados compatível com fertilizantes tradicionais (FIGUEIRA, 1994). Assim, objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade, parâmetros tecnológicos, atributos químicos do solo e absorção foliar de nutrientes em cana-soca, pela aplicação de termopotássio no sulco de plantio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das fontes de potássio

2.1.1 Termopotássio

Para este estudo utilizou-se o termopotássio (TK47) desenvolvido pela Verde Fertilizantes Ltda, este fertilizante potássico é obtido através da mistura e aquecimento de Verdete, calcário e reagentes químicos. A composição química do Verdete utilizado para a fabricação do TK47 é apresentada na tabela 16.

Tabela 16. Caracterização química do Verdete utilizado para a fabricação do TK47.

Elemento	-- % --
SiO ₂	57,940
K ₂ O	11,180
Fe ₂ O ₃	6,720
MgO	2,690
MnO	0,110
TiO ₂	0,800
Na ₂ O	0,090
P ₂ O ₅	0,080
CaO	0,060
Cr ₂ O ₃	0,016

Fonte: Kahn et al. 2011

A primeira etapa para a produção do termopotássio é a extração de Verdete através do processo de lavra de mina a céu aberto. A seguir, o minério lavrado é enviado para a britagem para redução da granulometria. Em seguida, o calcário e reagentes são misturados ao Verdete, passando então por uma fina moagem e posterior secagem. A mistura em pó é então conduzida a um reator térmico para processamento pirometalúrgico, sendo posteriormente padronizado e embalado para comercialização (MORETTI, 2012). Sua caracterização física e química é apresentada a seguir (Tabela 17).

Tabela 17. Caracterização dos atributos físicos e químicos do cloreto de potássio (KCl) e do termopotássio (TK47).

	KCl	TK47
Caracterização Física		
Peneira	----- % -----	
2mm (ABNT n° 10)	96,7	28,4
0,84mm (ABNT n° 20)	3,0	36,3
0,30 mm (ABNT n° 50)	0,2	23,7
Fundo da peneira	0,1	11,6
Caracterização Química		
¹ Índice Salino	145	0,5
	----- % -----	
² K ₂ O Total	60	7
³ K ₂ O solúvel em água	62	0,5
³ K ₂ O ácido cítrico 2%	61	6
⁴ Si Total	-	28
⁵ Ca Total	-	22
⁵ Mg Total	-	1
⁶ Cl	47	-

1. De acordo com MAPA (2007); 2. De acordo com EPA (1996); 3, 5. Dados fornecidos pela Verde Fertilizantes; 4. De acordo com Korndorfer *et al.* (2004); 6. De acordo com Embrapa (1999). KCl = cloreto de potássio; TK47 = termopotássio.

Os tratamentos aplicados foram diferentes dosagens dos fertilizantes potássicos. Na tabela 18 são apresentadas as quantidades dos nutrientes que são adicionadas ao sistema com a adição das respectivas doses de cada tratamento.

Tabela 18 - Descrição dos tratamentos aplicados à cana-de-açúcar (cana-soca).

Tratamentos	Dose	dose de K ₂ O	Ca	Mg	Si	Cl
	0	0	0	0	0	0
TK47	714	50	157	7	200	0
	1429	100	314	14	400	0
	2143	150	471	21	600	0
	3571	250	785	36	1000	0
KCl	167	100	0	0	0	78
	667	400	0	0	0	313

1. Equivalente em K₂O com a respectiva dose aplicada.

Neste estudo as comparações das doses de termopotássio (TK47), são realizadas frente ao fertilizante potássico mais utilizado no Brasil, o cloreto de potássio (KCl),

reiterando que o KCl é fonte apenas de K e Cl, e que o termopotássio (TK47) apresenta outros nutrientes em sua composição.

2.2 Condução dos experimentos

Foram desenvolvidos três experimentos de campo, um foi instalado na Usina Tropical-BP (Local 1), situada no município de Acreúna – GO (latitude: 17° 23' 45" Sul, longitude: 50° 22' 37" Oeste, a 650 m de altitude); outro experimento foi instalado na Usina Jalles Machado (Local 2), situada no município de Goianésia - GO (latitude: 15° 19' 03" Sul, longitude: 49° 07' 03" Oeste, a 640 m de altitude), e um terceiro experimento foi instalado na Usina Junqueira-Raízen (Local 3), situada no município de Igarapava - SP (latitude: 20° 02' 18" Sul, longitude: 47° 44' 49" Oeste, a 576 m de altitude).

2.2.1 Características Local 1

A área possui solo classificado como Latossolo vermelho distrófico, cujas características químicas encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19. Caracterização química do solo utilizado no experimento do Local 1 (análise de solo fornecida pela usina).

Prof. cm	pH H ₂ O	P --mg	K ⁺ dm ⁻³ --	Al ³⁺ -----	H+Al	Ca ²⁺ cmol _c	Mg ²⁺ dm ⁻³ -----	SB	t	T	V ---- % ----	m	M.O. dag kg ⁻¹
0-20	5,2	1,7	55,7	0	2,8	2,4	0,6	3,1	3,1	5,9	51,8	31,8	33,3
20-40	5,1	1,8	31,0	0	2,6	1,8	0,5	2,4	2,4	5,0	48,1	41,7	27,2

P, K = HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹; P disponível = extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al = KCl 1 mol L⁻¹; H+Al = SMP a pH 7,5; SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7; V = saturação por bases; e, m = saturação por alumínio, foram avaliados segundo EMBRAPA (1999). MO = matéria orgânica pelo método colorimétrico.

2.2.1.1 Instalação e tratamentos

O plantio da cana, variedade RB86-7515, foi realizado no dia 20 de outubro de 2013 e a colheita em 22 de abril de 2014. O experimento foi instalado em área de cana-soca (1° corte), em junho de 2014, em delineamento de blocos casualizados, onde as parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de cana, com 15 metros de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 metros totalizando 112,5 m² de área total com 4 repetições. Os tratamentos (Tabela 18) foram aplicados manualmente a 30 cm da linha de brotação, em faixa, após o primeiro corte (Figura 12).



Figura 12. Aplicação dos tratamentos em cana-soca. Local 1. (Foto: Ramos, 2014)

2.2.1.2 Avaliações e colheita

Aos 190 dias da instalação do experimento, no dia 26 de fevereiro de 2015, realizou-se a contagem de perfilhos e medição das falhas em todas as linhas da parcela. Realizou-se também a coleta de amostras de folha da área, seguindo metodologia descrita por Korndörfer e Ramos (2008), para análise dos teores dos seguintes nutrientes: N, P, K, Ca e Mg.

Em julho de 2015, foi realizada a colheita manual das 3 linhas centrais da parcela, seguida de pesagem da cana (Figura 13) para a determinação da produtividade. A produtividade dos colmos da cana-de-açúcar em cada parcela experimental foi determinada após sua colheita manual e com o auxílio de uma célula de carga (Técnica modelo WT-3000) com capacidade para 1000 kg a qual foi acoplada à garra de uma carregadora de cana.



Figura 13. Colheita mecanizada da cana (imagem superior) e balança acoplada ao “caminhão balança” (imagem inferior). Local 1. (Foto: Ramos, 2015).

Dentre as plantas colhidas, foram amostradas 10 aleatoriamente para a determinação de altura de planta (com o auxílio de uma trena) de diâmetro de colmo (com o auxílio de um paquímetro), e para as análises tecnológicas de determinação da quantidade de AR (açúcares redutores), ATR (açúcar total recuperado), TAH (tonelada de açúcar por hectare), Pol (quantidade de sacarose presente no caldo), Brix (teor de sólidos solúveis), Pureza e Fibras.

Foram coletadas duas amostras de solo em cada uma das três linhas de cana colhidas das parcelas, nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Si e pH.

2.2.2 Características do Local 2

A fazenda Caiçara, área de cana-soca, 1º corte, está situada no município de Goianésia- GO.

2.2.2.1 Instalação e tratamentos

O experimento foi instalado em área de cana-soca (1º corte) com a variedade CTC 4, em julho de 2014, em um delineamento de blocos casualizados, onde as parcelas experimentais eram compostas por 5 linhas de cana com 15 metros de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 metros, totalizando 112,5 m² de área total com 4 repetições. Os tratamentos (Tabela 18) foram aplicados manualmente a 30 cm da linha de brotação, em faixa, após o primeiro corte.

2.2.2.2 Avaliações e colheita

Aos 190 dias da instalação do experimento, no dia 28 de janeiro de 2015, realizou-se a medição das falhas em todas as linhas da parcela. Realizou-se também a coleta de amostras de folha da área, seguindo metodologia descrita por Korndörfer e Ramos (2008), para análise dos teores dos seguintes nutrientes: N, P, K, Ca e Mg.

Em agosto de 2015, foi realizada a queima e a colheita manual das 5 linhas da parcela, seguida de pesagem da cana para a determinação da produtividade. A produtividade dos colmos da cana-de-açúcar em cada parcela experimental foi determinada após sua colheita manual e com o auxílio de uma célula de carga (Técnica modelo WT-3000) com capacidade para 1000 kg a qual foi acoplada à garra de uma carregadora de cana.

Dentre as plantas colhidas, foram amostradas 10 aleatoriamente para as análises tecnológicas de determinação da quantidade de AR (açúcares redutores), ATR (açúcar total recuperado), TAH (tonelada de açúcar por hectare), Pol (quantidade de sacarose presente no caldo), Brix (teor de sólidos solúveis), Pureza e Fibras.

Foi coletada uma amostra de solo, em cada uma das linhas de cana colhida das parcelas, nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Si e pH.

2.2.3 Características do Local 3

A área escolhida está situada no município de Igarapava - SP, Sítio Santa Clara, cujas características químicas do solo encontram-se na Tabela 20.

Tabela 20. Caracterização química do solo utilizado no experimento na região de Igarapava-SP (análise de solo fornecida pela usina).

Prof.	pH H ₂ O	P	K	Al ³⁺	H+A l	Ca ²⁺	Mg ²⁺ +	SB	T	V	M.O.
cm	--	mg dm ⁻³				mmmol _c dm ⁻³				---	dag kg ⁻¹
0-25	5,7	17,0	0,8	0,0	19,6	30,0	9,0	39,8	59,0	67,0	2,4
25-50	5,3	5,2	0,2	0,0	27,7	26,0	7,0	33,2	61,0	54,0	1,6

K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); P disponível (extrator Resina); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; alumínio (EMBRAPA, 1999), M.O. = Método Colorimétrico.

2.2.3.1 Instalação e tratamentos

O plantio da cana, variedade RB867515, foi realizado no dia 19 de junho de 2013 e a colheita em 16 de junho de 2014. O experimento foi instalado em área de cana-soca (1º corte), no dia 10 de julho de 2014, em um delineamento de blocos casualizados, onde as parcelas experimentais foram compostas por 6 linhas de cana (3 linhas duplas) com 15 metros de comprimento e espaçadas entre si por 1,2 metros com 4 repetições, totalizando 108,0 m² de área total. Os tratamentos (Tabela 18) foram aplicados manualmente, distantes 30 cm da linha de brotação, em faixa (Figura 14).



Figura 14. Aplicação dos tratamentos em cana-soca. Local 3. (Foto: Ramos, 2015)

2.2.3.2 Avaliações e colheita

Aos 242 dias da instalação do experimento, no dia 12 de março de 2015, realizou-se a medição das falhas em todas as linhas da parcela. Realizou-se também a coleta de amostras de folha da área, seguindo metodologia descrita por Korndörfer; Ramos (2008), para análise dos teores dos seguintes nutrientes: P, K, Ca e Mg.

Em agosto de 2015, foi realizada a colheita manual em toda a parcela experimental, seguida de pesagem da cana para a determinação da produtividade. A produtividade dos colmos da cana-de-açúcar em cada parcela experimental foi determinada após sua colheita manual e com o auxílio de uma célula de carga (Técnica

modelo WT-3000) com capacidade para 1000 kg a qual foi acoplada à garra de uma carregadora de cana.

Dentre as plantas colhidas, foram amostradas 10 aleatoriamente para as análises tecnológicas de determinação da quantidade de AR (açúcares redutores), ATR (açúcar total recuperado), TAH (tonelada de açúcar por hectare), Pol (quantidade de sacarose presente no caldo), Brix (teor de sólidos solúveis), Pureza e Fibras.

2.3 Análises das amostras

2.3.1 Análise foliar

Foram coletadas 20 folhas por parcela. A folha retirada foi a terceira a partir do ápice que corresponde à folha TVD (*top visible dewlap*), isso é, com última lígula visível (KORNDORFER; RAMOS, 2008). Após a coleta, o terço médio das folhas sem a nervura foi acondicionado em sacos de papel. No laboratório essas amostras foram gentilmente lavadas, e secas a 65 °C, até atingirem o peso constante. Após seco, o material foi moído em moinho tipo Willey. A partir dessas amostras, foram realizadas as análises de P, K, Ca e Mg conforme Embrapa (1999).

2.3.2 Análise de solo

Em cada parcela experimental após a colheita da cana as amostras de solo, foram retiradas sobre a linha de plantio da cana-de-açúcar com auxílio de um trado holandês. Essas amostras foram retiradas na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm; posteriormente, foram secas e peneiradas depois utilizadas para determinar os teores de K, Ca, Mg e pH do solo, segundo metodologia da Embrapa (1999) e Si segundo Korndörfer (2004).

2.3.3 Análise tecnológica

Os dez colmos foram despontados na altura da gema apical (ponto de quebra) para a realização das análises segundo a metodologia do Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS). Após a desintegração e homogeneização dos colmos, uma alíquota de 500 g foi submetida à prensa hidráulica [250 kgf cm⁻², por 1 (um) minuto] de acordo com o método de Tanimoto (1969), e o caldo extraído foi utilizado para as determinações químico-tecnológicas conforme CONSECAN (2006). Estas determinações são descritas a seguir:

a) Brix do caldo (%): determinado por refratometria a 20 °C (SCHENEIDER, 1979).

b) Fibra: determinado segundo Fernandes (2000) através da fórmula:

Fibra = $(0,152 \times \text{PBU} - 8,367)$, onde:

PBU = peso do bagaço úmido, obtido após a prensagem, à 250 kgf cm⁻², por 1 (um) minuto, de uma amostra de 500 g de cana desintegrada.

c) Pureza aparente (%): A pureza expressa porcentagem dos sólidos solúveis (Brix) que são sacarose (Pol) (FERNANDES, 2003). O coeficiente de pureza é calculado pela relação:

$$\text{Pureza aparente (\%)} = (\text{Pol} / \text{Brix}) \times 100.$$

d) Açúcares redutores (%): açúcares redutores (quantidade conjunta de frutose e glicose) presentes na cana-de-açúcar determinados pela Técnica de Somogy e Nelson, adaptado por Amorim (1979), e calculado por:

$$\text{AR (\%)} = (9,9408 - 0,1049 \times \text{Pur.}) \times (1 - 0,01 \times F) \times C \text{ onde:}$$

Pur. = pureza aparente (%);

F = fibra industrial (% cana), e,

C = fator de transformação de Pol de caldo extraído para Pol de caldo absoluto.

e) Pol caldo (%) e Pol cana (%): dosada pelo método de Schmitz em diluição segundo Scheneider (1979). A Pol do caldo (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo) é calculada pela equação seguinte:

$$S = \text{LPb} (0,2605 - 0,0009882 \times B).$$

A transformação da leitura sacarimétrica com a mistura clarificante, à base de alumínio, para a leitura equivalente em subacetato de chumbo ou (octapol), será feita pela equação:

$$\text{LPb} = 1,00621 \times \text{Lal} + 0,05117, \text{ onde:}$$

LPb = leitura sacarimétrica equivalente à de subacetato de chumbo, e,

Lal = leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificante à base de alumínio.

Assim sendo, a equação completa para o cálculo da pol da cana (S) passa a ser a seguinte:

$S = (1,00621 \times Lal + 0,05117) \times (0,2605 - 0,0009882 \times B)$, onde B é o Brix do caldo.

O Pol da cana foi calculado através da seguinte expressão:

$PC = S \times (1 - 0,01F) \times C$, onde:

S = Pol do caldo extraído;

F = fibra industrial (% cana), e,

C = fator de transformação de Pol de caldo extraído para Pol de caldo absoluto.

f) Açúcar total recuperável (ATR): reflete o resultado da diferença entre o AR (açúcares redutores) da cana e as perdas na lavagem de cana, no bagaço final, na torta do filtro ou prensa e as “indeterminadas” (FERNANDES, 2003). É calculado pela seguinte equação:

$ATR \text{ (kg t)} = 10 \times PC \times 1,0526 \times (1 - PI/100) + 10 \times AR \times (1 - PI/100)$, sendo:

PC = Pol da cana, que determina a quantidade de sacarose aparente na cana-de-açúcar;

PI = a perda industrial média dos açúcares contidos na cana-de-açúcar em função dos processos industriais e tecnológicos utilizados no Estado de São Paulo, e,

AR = açúcares redutores.

g) Tonelada de açúcar por hectare (TAH): este parâmetro ligado a produtividade da cana-de-açúcar foi calculada através da fórmula:

$TAH \text{ (ton ha}^{-1}\text{)} = TCH \times ATR$, onde:

TCH = toneladas de colmos por hectare, e,

ATR = açúcar total recuperável.

2.4 Análise estatística

O conjunto de dados foi testado para a ocorrência de valores extremos (*outliers*) através de gráficos *boxplot* dos erros residuais (CHAMBERS et al., 1983) e os *outliers* identificados (análise gráfica de *boxplot* dos erros residuais) foram calculados como *parcelas perdidas* com o objetivo de minimizar os efeitos de avaliações extremas nas estimativas deste estudo.

Posteriormente, esses erros residuais foram testados para a normalidade de sua distribuição por Shapiro-Wilk (1965) ($p > 0,01$) e para a homogeneidade das variâncias por Levene (1960) ($p > 0,01$). Ambas as avaliações (normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias) são para atender às pressuposições do modelo de análise de variância (ANAVA) e foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SPSS Statistics®.

A ANAVA foi realizada para todos os tratamentos (5 níveis de TK47 e 2 níveis de KCl) e quando significativa ($p < 0,05$) os tratamentos foram tratados como qualitativos e suas médias foram testadas por Scott e Knott (1974). Outra ANAVA foi realizada para apenas os níveis de TK47 e quando significativa ($p < 0,05$) os tratamentos foram tratados como quantitativos e suas médias foram analisadas em uma regressão polinomial, ou por Tukey (1977) quando o modelo de regressão não atendesse ao conjunto de dados ($p > 0,05$ e/ou $R^2 < 70\%$).

Ambas as ANAVAs foram conduzidas para experimentos implantados em delineamento de blocos casualizados (DBC). A ANAVA e os testes de médias foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comparações entre todos os tratamentos

Os resultados do teste de *F* e sua significância na ANAVA de todos os tratamentos (doses de TK47 e de KCl) para todas as variáveis analisadas em cana-soca nas três usinas são apresentados na tabela 21.

Tabela 21. Teste de *F* e sua significância da ANAVA entre todos os tratamentos (doses de TK47 e de KCl) em cana-soca.

	Local 1	Local 2	Local 3
Perf.	0,595		2,070
Fal.	0,525	0,623	0,741
Alt.	1,286		0,306
Diam.	1,522		0,607
Colmo	0,304	0,335	0,781
Brix	1,329	1,737	2,112
Fibra	0,503	0,910	0,691
AR	1,266	0,424	1,560
Pol. Cana	1,271	0,529	2,085
Pureza	1,323	0,386	1,500
ATR	1,274	0,603	2,083
TAH	0,292	0,851	1,266
N fol	4,668*	3,131*	1,119
P fol	1,333	0,713	1,110
K fol	0,171	1,831	0,600
Ca fol	0,640	0,767	2,558
Mg fol	1,836	1,669	1,027
pH 0.20	1,583	1,192	7,082**
pH 20.40	0,601	1,517	1,350
Si 0.20	0,438	0,644	17,085**
Si 20.40	0,888	0,814	3,464*
Ca 0.20	7,831**	0,773	6,119**
Ca 20.40	1,165	0,643	3,763*
Mg 0.20	2,694**	0,236	0,473
Mg 20.40	1,364	0,337	1,022
P 0.20		7,657**	11,091**
P 20.40		3,119*	0,522
K 0.20	1,985	4,196*	14,305**
K 20.40		2,641	4,989*

1. Perf.: número perfilhos por metro; Fal.: número de falhas por metro; Alt.: altura média da planta; Diam.: diâmetro de cana; Colmo: cana por hectare; Brix: sólidos solúveis em solução de sacarose quimicamente pura; Fibra: eficiência de extração da moenda; AR: açúcares redutores; Pol.: teor de sacarose aparente na cana; Pureza: Pol./Brix x 100; ATR: açúcar total recuperável; TAH: toneladas de açúcar por hectare; N fol: nitrogênio foliar; P fol: fósforo foliar; K fol: potássio foliar; Ca fol: cálcio foliar; Mg fol: magnésio foliar; pH 0.20: pH em água (2,5:1) a 0-20 cm no

solo; pH 20.40: pH em água (2,5:1) a 20-40 cm no solo; Si 0.20: silício a 0-20 cm no solo; Si 20.40: silício a 20-40 cm no solo; Ca 0.20: cálcio a 0-20 cm no solo; Ca 20.40: cálcio a 20-40 cm no solo; Mg 0.20: magnésio a 0-20 cm no solo; Mg 20.40: magnésio a 20-40 cm no solo; P 0.20: fósforo a 0-20 cm no solo; P 20.40: fósforo a 20-40 cm no solo; K 0.20: potássio a 0-20 cm no solo; K 20.40: potássio a 20-40 cm no solo.

* ou **. Valores do Teste de *F* seguidos por ‘*’ ou ‘**’ indicam diferenças entre todos os tratamentos (TK47 e KCl) e foram testadas por Skott-Knott a 5 e 1% de significância, respectivamente.

3.1.1 Local 1

A tabela 22 apresenta as variáveis N foliar, Ca e Mg na camada de 0 a 20 cm no solo, que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos em cana-soca no Local 1 (Tabela 21), são comparadas entre si.

Tabela 22. Avaliação de médias de nitrogênio foliar, cálcio e magnésio trocável no solo para todos os tratamentos (doses de TK47 ou KCl) no Local 1 (cana-soca).

Tratamento	K ₂ O kg ha ⁻¹	N fol g kg ⁻¹	Ca 0-20 ----- cmol dm ⁻³ -----	Mg 0-20 -----
TK47	0	17,77 a ¹	3,42 b	1,02 b
TK47	50	15,90 b	4,58 a	1,11 b
TK47	100	15,50 b	4,07 b	1,30 a
TK47	150	16,75 a	4,51 a	0,93 b
TK47	250	17,98 a	3,73 b	1,39 a
KCl	100	17,70 a	5,01 a	1,44 a
KCl	400	17,77 a	4,10 b	1,27 a
CV (%)		6,18	9,20	19,16

N fol: nitrogênio foliar; Ca 0-20: cálcio a 0-20 cm no solo; Mg 0-20: magnésio a 0-20 cm no solo.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Apesar de serem identificadas diferenças no N foliar entre os tratamentos para essa variável, a diferença entre a menor (50 e 100 kg ha⁻¹ de termopotássio) e a maior (demais tratamentos) quantidades encontradas foi de aproximadamente 12%. Os teores foliares encontrados estão ligeiramente abaixo do nível crítico de resposta (18-25 g kg⁻¹ N) estipulado por Raij et al. (1996), sendo apenas a dose de 250 kg ha⁻¹ de termopotássio numericamente próxima de atender a esta demanda.

Os níveis de Ca e Mg na camada de 0 a 20 cm do solo são considerados bons ou muito bons de acordo com Ribeiro et al. (1999), sendo todos os tratamentos capazes de suprirem a demanda desses nutrientes para a cana-de-açúcar no cultivo da primeira soca. Estes resultados sugerem que a área desse experimento é fértil e que os resultados da

aplicação de doses extras de Ca e Mg via TK47 serão modestos. Estes resultados, no entanto, corroboram com os resultados encontrados por Duarte (2012), que também verificou que o termopotássio é capaz de disponibilizar quantidades significativas de Ca e Mg para a solução do solo.

3.1.2 Local 2

As variáveis N foliar, P nas camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm no solo, e K na camada de 0 a 20 cm no solo, que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos no Local 2 (Tabela 21), são comparadas entre si na tabela 23.

Tabela 23. Avaliação de médias de nitrogênio foliar, fósforo e potássio trocável no solo para todos os tratamentos (doses de TK47 ou KCl) no Local 2 (cana-soca).

Tratamento	K ₂ O kg ha ⁻¹	N fol g kg ⁻¹	P 0-20 ----- mg dm ⁻³ -----	P 20-40 ----- mg dm ⁻³ -----	K 0-20 cmol dm ⁻³
Testemunha	0	17,80 b	7,07 b	4,45 b	0,12 b
TK47	50	17,60 b	5,57 b	5,24 b	0,14 b
TK47	100	19,45 a	5,07 b	3,78 b	0,19 b
TK47	150	18,50 b	10,76 a	3,70 b	0,15 b
TK47	250	19,88 a	11,60 a	9,06 a	0,15 b
KCl	100	18,93 b	7,81 b	4,37 b	0,22 b
KCl	400	18,93 b	12,36 a	8,90 a	0,54 a
CV (%)		4,99	20,64	40,49	24,12

N fol: nitrogênio foliar; P 0-20 e P 20-40: fósforo a 0-20 e a 20-40 cm no solo; K 0-20: potássio a 0-20 cm no solo.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Apesar de serem identificadas diferenças entre os tratamentos para essa variável, a diferença entre a menor (50 e 100 kg ha⁻¹ de termopotássio) e a maior (demais tratamentos) quantidade de N foliar encontrada foi de cerca de 7%. Contudo diferentemente dos resultados observado para N foliar no Local 1, no Local 2 os teores foliares de N estão dentro do considerado adequado (18-25 g kg⁻¹ N) (RAIJ et al. 1996), para as doses de termopotássio superiores a 100 kg ha⁻¹ de K₂O, e as doses de KCl.

O P presente nas camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm foi superior com a dose de 250 kg ha⁻¹ de termopotássio e de 400 kg ha⁻¹ de K₂O como KCl, no entanto, todos os tratamentos apresentaram níveis baixos ou muito-baixos P no solo (RIBEIRO et al. 1999). O aumento da disponibilidade de P no solo com o incremento das doses de termopotássio pode ser associado ao poder corretivo dessa fonte que neutraliza os sítios de adsorção do

P no solo, disponibilizando-o para absorção pelas plantas. O cátion K^+ das duas fontes (TK47 ou KCl) também pode se associar ao ânion fosfato (PO_4^{3-}) por efeito de concentração, e deslocá-lo de sítios de maior retenção no solo liberando-o para a solução.

O K presente na camada de 0 a 20 foi similar entre as doses de termopotássio e a dose de 100 kg ha^{-1} de K_2O como KCl. A dose de 100 kg ha^{-1} de K_2O aplicado como KCl foi superior em relação aos demais tratamentos, sendo considerada elevada. Os demais tratamentos apresentaram níveis de K trocável no solo classificados como medianos a baixos (SCHLINDWEIN et al. 2011), sendo insuficientes para sustentar o cultivo da cana-de-açúcar para altas produtividades.

3.1.3 Local 3

As variáveis pH de solo na camada de 0 a 20 cm e Si nas camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos no Local 3 (Tabela 21), são comparadas entre si na tabela 24.

Tabela 24. Avaliação de médias de pH e silício trocável no solo para todos os tratamentos (doses de TK47 ou KCl) no Local 3 (cana-soca).

Tratamento	K_2O kg ha^{-1}	pH 0-20	Si 0-20 ----- mg dm^{-3} -----	Si 20-40
Testemunha	0	5,15 b ¹	2,92 d	3,36 b
TK47	50	5,13 b	3,68 c	4,10 a
TK47	100	5,36 a	4,39 c	4,12 a
TK47	150	5,07 b	5,03 b	5,46 a
TK47	250	5,48 a	6,64 a	4,67 a
KCl	100	4,84 c	3,18 d	3,08 b
KCl	400	4,93 c	2,81 d	3,20 b
CV (%)		3,29	16,38	23,32

pH 0-20: pH em água a 0-20 cm no solo; Si 20-40: silício a 20-40 cm no solo

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Os valores de pH do solo encontrados neste local em cana-soca são considerados médios a elevados (RIBEIRO et al. 1999). Doses elevadas de termopotássio (100 ou 250 kg ha^{-1} de K_2O) apresentaram resultados para pH superiores em relação aos demais tratamentos. Esta é uma consequência do efeito corretivo de pH do solo do termopotássio que é produzido com a adição do carbonato de cálcio (LEITE, 1985; DUARTE, 2012, 2015).

Na camada de solo de 0 a 20 cm o teor de Si é elevado na dose de 250 kg ha⁻¹ de K₂O como termopotássio; já na camada de 20 a 40 cm de profundidade as doses de termopotássio iguais ou superiores a 50 kg ha⁻¹ foram as que apresentaram os maiores teores de Si. Os elevados teores de Si encontrados quando termopotássio é aplicado é devido a este ser uma fonte silicatada capaz de disponibilizá-lo para o cultivo da cana. O valores de Si disponível encontrados em todos os tratamentos e profundidades no Local 3 são considerados altos, superiores a 24 mg dm⁻¹ (KORNDÖRFER et al. 1999). Duarte (2015) também relatou incrementos na disponibilidade desses nutrientes no solo com o uso do mesmo termopotássio utilizado neste estudo (TK47).

As variáveis Ca e K nas camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm no solo, e P na camada de 0 a 20 cm no solo, que apresentaram diferença significativa (p < 0,05) entre os tratamentos no Local 3 (Tabela 21), são comparadas entre si na tabela 25.

Tabela 25. Avaliação de médias de cálcio, fósforo e potássio trocável no solo para todos os tratamentos (doses de TK47 ou KCl) no Local 3 (cana-soca).

Tratamentos	K ₂ O kg ha ⁻¹	Ca 0-20 ² -----	Ca 20-40 cmol dm ⁻³ -----	K 0-20 -----	K 20-40 -----	P 0-20 mg dm ⁻³
Testemunha	0	1,59 b ¹	1,49 b	0,15 b	0,09 b	16,48 c
TK47	50	1,59 b	1,58 b	0,15 b	0,20 a	10,59 c
TK47	100	1,73 a	1,48 b	0,16 b	0,15 b	13,31 c
TK47	150	1,81 a	1,54 b	0,15 b	0,21 b	15,30 c
TK47	250	1,96 a	1,76 a	0,26 a	0,29 a	33,62 a
KCl	100	1,50 b	1,32 b	0,06 c	0,14 b	13,58 c
KCl	400	1,38 b	1,24 b	0,08 c	0,14 b	28,08 b
CV (%)		9,67	12,03	24,68	32,45	24,74

Ca 0-20: cálcio a 0-20 cm no solo; Ca 20-40: cálcio a 20-40 cm no solo; P 0-20: fósforo a 0-20 cm no solo; K 0-20: potássio a 0-20 cm no solo; K 20-40: potássio a 20-40 cm no solo.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Na tabela 25 acima, os teores de Ca, P e K disponíveis são superiores na dose de 250 kg ha⁻¹, diferindo das doses de KCl e da não aplicação de qualquer fonte de K (0 kg ha⁻¹ K₂O), isso porque o termopotássio é fonte de K (Verdete) e Ca (CaCO₃), e também um corretivo do pH do solo (LEITE, 1985; DUARTE, 2012, 2015), o que neutraliza as cargas que se associam com o P, disponibilizando-a para absorção pela cana.

Os teores de Ca disponível no solo foram classificados como medianos (RIBEIRO et al., 1999) e os teores de K foram classificados como baixos a medianos (SCHLINDWEIN et al. 2011) nas duas profundidades. Contudo o P disponível no solo

foi considerado alto e muito alto para a dose de 250 kg ha⁻¹ de K₂O aplicado como TK47. O que foi acrescido ao Ca ou K disponível no solo, mesmo com a maior dose de TK47, não foi suficiente para melhorar o baixo nível de disponibilidade desses nutrientes, nem o acréscimo de P no solo surtirá respostas positivas ao desenvolvimento da cana-de-açúcar devido ao solo já estar bem suprido desse nutriente.

3.2 Comparações entre as doses de termopotássio

Os resultados do teste de *F* e sua significância na ANAVA das doses de TK47 para todas as variáveis analisadas em cana-soca nas três usinas são apresentados na tabela 26.

Tabela 26. Teste de *F* da ANAVA entre todas as doses de TK47 em cana-soca calculado como delineamento de blocos casualizados.

	Local 1	Local 2	Local 3
Perf.	0,567		1,960
Fal.	0,499	0,529	0,855
Alt.	1,044		0,576
Diam.	2,918		0,378
Colmo	0,199	0,391	0,991
Brix	2,570	2,640	0,277
Fibra	0,488	1,092	0,358
AR	1,267	0,193	2,569
Pol. Cana	1,750	0,708	0,509
Pureza	1,360	0,210	2,408
ATR	1,813	0,895	0,458
TAH	0,183	0,826	1,430
N fol	7,385**R	4,161*M	1,223
P fol	1,828	0,433	0,850
K fol	0,202	40,91*M	0,396
Ca fol	0,652	0,429	1,607
Mg fol	3,903*M	2,021	0,634
pH 0.20	0,595	0,097	3,212
pH 20.40	0,232	0,838	1,181
Si 0.20	0,188	1,308	16,018**R
Si 20.40	0,659	1,400	2,536
Ca 0.20	7,832**M	0,248	3,446*R
Ca 20.40	1,188	1,088	1,933
Mg 0.20	3,400*M	0,082	0,037
Mg 20.40	1,163	0,209	0,685
P 0.20		20,300**M	36,318**R
P 20.40		9,671**R	0,390
K 0.20	2,256	3,267	6,213**R
K 20.40		1,223	6,009**R

1. Perf.: número perfilhos por metro; Fal.: número de falhas por metro; Alt.: altura média da planta; Diam.: diâmetro de cana; Colmo: cana por hectare; Brix: sólidos solúveis em solução de sacarose quimicamente pura; Fibra: eficiência de extração da moenda; AR: açúcares redutores; Pol.: teor de sacarose aparente na cana; Pureza: Pol./Brix x 100; ATR: açúcar total recuperável; TAH: toneladas de açúcar por hectare; N fol: nitrogênio foliar; P fol: fósforo foliar; K fol: potássio foliar; Ca fol: cálcio foliar; Mg fol: magnésio foliar; pH 0.20: pH em água (2,5:1) a 0-20 cm no solo; pH 20.40: pH em água (2,5:1) a 20-40 cm no solo; Si 0.20: silício a 0-20 cm no solo; Si 20.40: silício a 20-40 cm no solo; Ca 0.20: cálcio a 0-20 cm no solo; Ca 20.40: cálcio a 20-40 cm no solo; Mg 0.20: magnésio a 0-20 cm no solo; Mg 20.40: magnésio a 20-40 cm no solo; P 0.20: fósforo a 0-20 cm no solo; P 20.40: fósforo a 20-40 cm no solo; K 0.20: potássio a 0-20 cm no solo; K 20.40: potássio a 20-40 cm no solo.

* ou **. Valores do Teste de *F* seguidos por ‘*’ ou ‘**’ indicam diferenças entre os níveis de TK47 e foram testadas por Skott-Knott a 5 e 1% de significância, respectivamente.

R. Valores do Teste de *F* seguidos por ‘R’ indicam que os níveis de ‘TK47’ adequaram regressão polinomial (5% de significância e $R^2 \geq 0,7$).

M. Valores do Teste de *F* seguidos por ‘M’ indicam que os níveis de ‘TK47’ não adequaram regressão polinomial (5% de significância e $R^2 \geq 0,7$) e foram testadas pelo teste de médias de Tukey a 5% de significância.

3.2.1 Local 1

A análise de regressão das variáveis avaliadas no Local 1 (Tabela 26) apresentou significância ($p < 0,05$) e adequação do modelo polinomial ao conjunto de dados ($R^2 > 0,7$) somente para a variável N foliar (Figura 15).

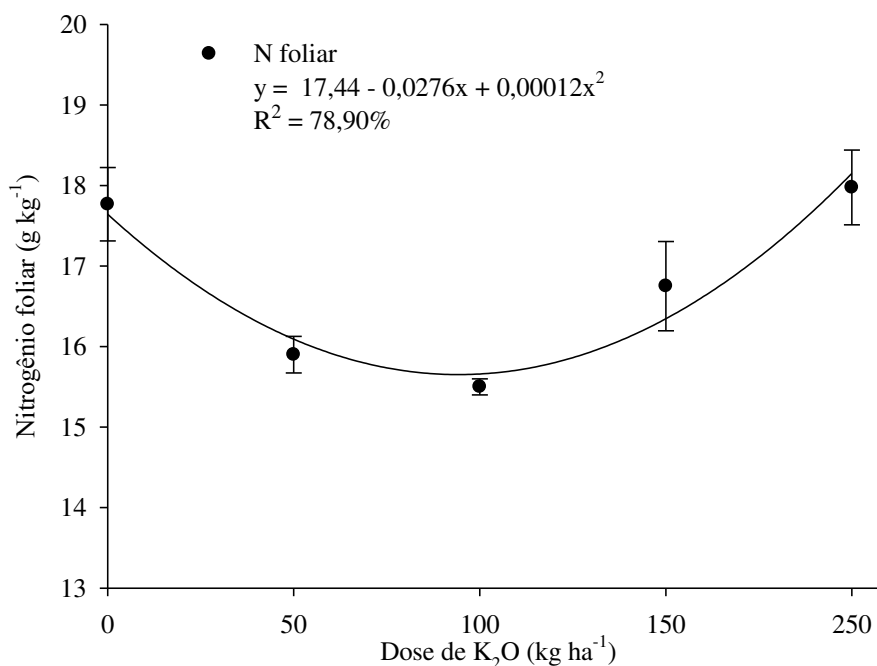


Figura 15. Teores de nitrogênio foliar em cana-de-açúcar no Local 1 (cana-soca).

O ponto de inflexão no gráfico do N foliar (Figura 15) indica que a partir de uma dose de 105 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47) e 15,85 mg kg⁻¹ de N, aumentando até 17,98 mg kg⁻¹

¹ de N na dose 250 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47). Este intervalo de concentração do N nas folhas de cana-de-açúcar é considerado abaixo do nível crítico de resposta (18-25 g kg⁻¹ N) estipulado por Raij et al. (1996).

As variáveis magnésio foliar e quantidade de Ca e Mg no solo para as doses de TK47 em cana-soca no Local 1 são apresentados na tabela 27. O conjunto de dados dessas variáveis apresentou significância ($p < 0,05$), porém sem adequação de modelo polinomial ao conjunto de dados ($R^2 < 0,7$).

Tabela 27. Avaliação de médias de magnésio foliar, e cálcio e magnésio trocável no solo para as doses de TK47 no Local 1 (cana-soca).

Fonte	Dose kg ha ⁻¹	Mg fol g kg ⁻¹	Ca 0-20 ----- cmol dm ⁻³ -----	Mg 0-20
TK47	0	2,23 a	3,42 c ¹	1,02 a
TK47	50	2,00 b	4,58 a	1,12 a
TK47	100	2,01 ab	4,07 abc	1,30 a
TK47	150	2,20 ab	4,51 ab	0,93 a
TK47	250	2,13 ab	3,73 bc	1,39 a
CV (%)		4,58	8,75	17,87

Mg fol: nitrogênio foliar; Ca 0-20: cálcio a 0-20 cm no solo; Mg 0-20: magnésio a 0-20 cm no solo.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A quantidade de Mg foliar é considerada adequada para o desenvolvimento da planta, estando entre 1 e 3 g kg⁻¹ de Mg. A diferença observada entre o maior valor (0 kg ha⁻¹ K₂O) e o menor valor (50 kg ha⁻¹ K₂O) de Mg foliar foi de cerca de 11%. Contudo não foram observadas diferenças entre os tratamentos ($p > 0,05$) para o Mg disponível no solo, apesar da ANAVA ter identificado diferenças (Tabela 27).

As quantidades de Mg e Ca disponível no solo dos tratamentos para o desenvolvimento da cana-de-açúcar são consideradas adequadas em qualquer tratamento (RIBEIRO et al., 1999). O termopotássio é fonte desses dois nutrientes, no entanto, nas doses equivalentes em K₂O testadas e para a cana-soca ele foi insuficiente em acrescentar Ca ou Mg que diferisse da não aplicação de termopotássio (0 kg ha⁻¹), indicando uma condição de boa fertilidade do solo original.

3.2.2 Local 2

As variáveis N e K foliar, e a quantidade de P para as doses de TK47 em cana-soca no Local 2 são apresentados na tabela 28. O conjunto de dados dessas variáveis

apresentou significância ($p < 0,05$), porém sem adequação de modelo polinomial ao conjunto de dados ($R^2 < 0,7$).

Tabela 28. Avaliação de médias de nitrogênio foliar, potássio e fósforo trocável no solo para as doses de TK47 no Local 2 (cana-soca).

Fonte	K ₂ O kg ha ⁻¹	N fol ----- g kg ⁻¹ -----	K fol -----	P 0-20 mg dm ⁻³
	0	17,80 ab ¹	9,75 b	7,07 b
	50	17,60 b	9,75 b	5,57 c
TK47	100	19,45 ab	10,00 ab	5,07 c
	150	18,50 ab	10,75 a	10,76 a
	250	19,86 a	9,75 b	12,69 a
CV (%)		5,25	4,28	4,28

N fol: nitrogênio foliar; K fol: nitrogênio foliar; P 0-20: fósforo a 0-20 cm no solo.

1. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os teores de N foliar estão em média dentro do nível crítico deste nutriente para o desenvolvimento da cana-de-açúcar (RAIJ et al. 1996). A maior dose (250 kg ha⁻¹ de K₂O equivalente de termopotássio) apresentou quantidade de N foliar similar aos demais tratamentos, diferindo apenas do tratamento com dose de 50 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo aproximadamente 13% superior a este. O K foliar é considerado baixo, no limite inferior do nível crítico estabelecido por Raij et al. (1996), sendo a diferença entre a maior concentração registrada, nas doses de 100 ou 150 kg ha⁻¹, e a menor concentração igual a 6,4%.

A quantidade de P presente no solo de qualquer tratamento foi classificada como bom, e muito bom (RIBEIRO et al., 1999) para a dose de 250 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47). Entretanto apesar de o P disponível no solo ser elevado, a dose de 250 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47) foi capaz de causar incrementos significativos na disponibilidade desse nutriente para absorção pelas raízes da cana-de-açúcar. Este aumento do P disponível no solo com o incremento do termopotássio está provavelmente relacionado ao seu efeito corretivo de pH do solo (LEITE, 1985; DUARTE, 2012, 2015).

A análise de regressão das variáveis avaliadas no Local 2 (Tabela 26) apresentou significância ($p < 0,05$) e adequação do modelo polinomial ao conjunto de dados ($R^2 > 0,7$) somente para a variável P na camada de solo de 20 a 40 cm de profundidade (Figura 16).

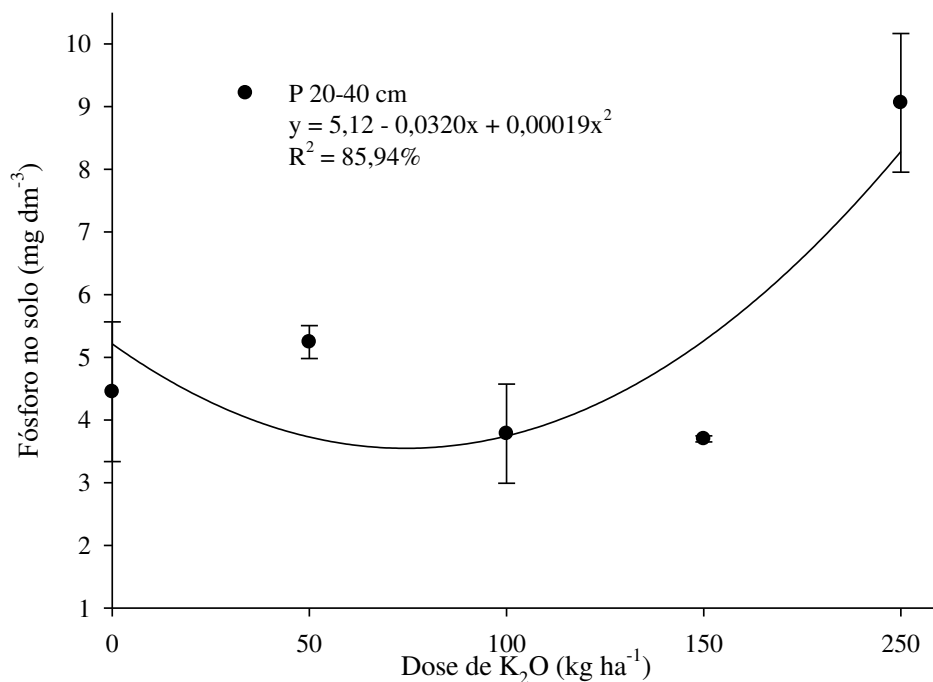


Figura 16. Teores de fósforo no solo entre 20 e 40 cm no Local 2 (cana-soca).

O ponto de inflexão no gráfico do P disponível no solo (Figura 16) indica que a partir de uma dose de 84 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47) e 3,77 cmol dm⁻³ de P, aumentando até 9,06 cmol dm⁻³ na dose de 250 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47). Este intervalo de concentração do P no solo de cana-de-açúcar varia de “baixo” a “bom” (RIBEIRO et al. 1999). Quantidades de P disponível no solo superiores a 8 cmol dm⁻³ são consideradas “bom” e equivalem a aplicação de doses superiores a 233 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47).

3.2.3 Local 3

Os teores no solo de Si, P e K no solo do Local 3 são apresentados a seguir.

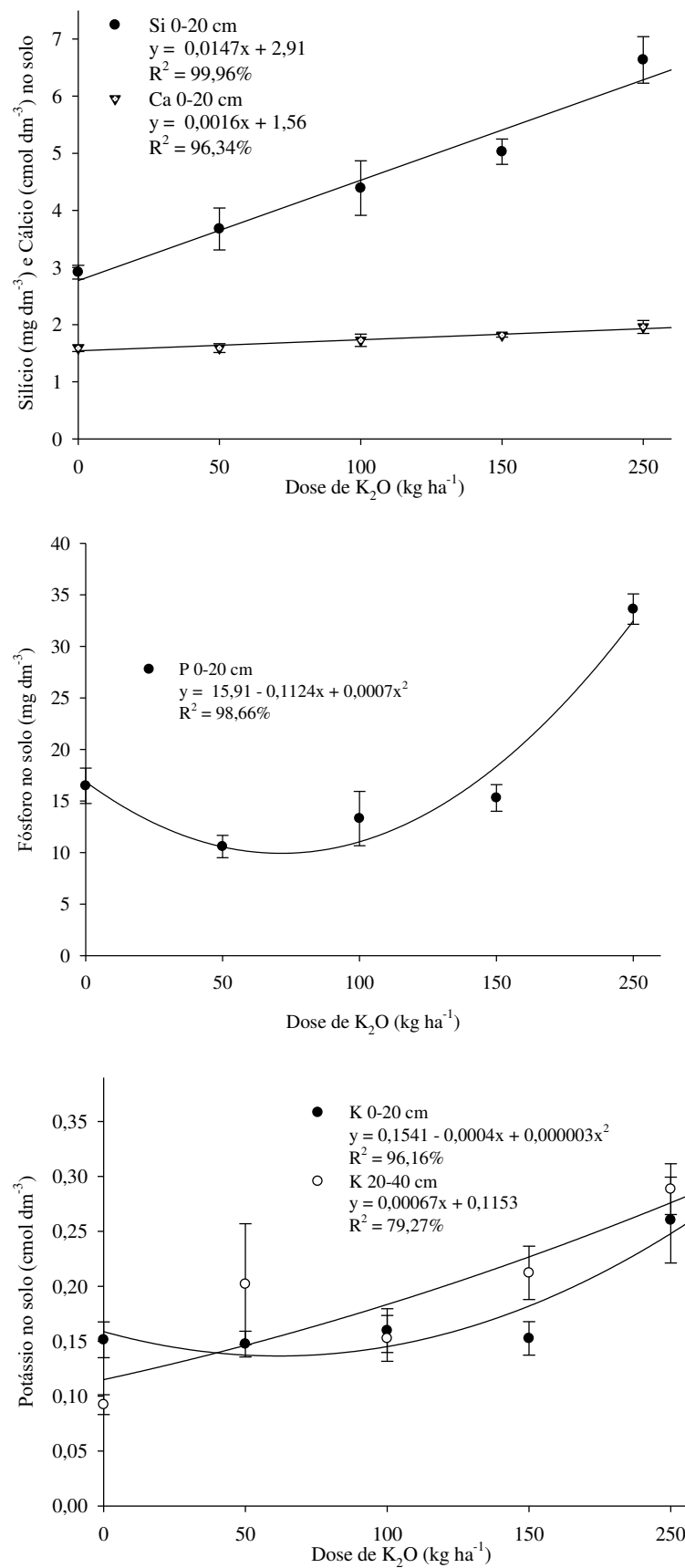


Figura 17. Teores de silício, cálcio, fósforo e potássio no solo no Local 3 (cana-soca).

A quantidade de Si e Ca na camada de solo de 0 a 20 cm sem a aplicação de termopotássio é de 2,91 mg dm⁻³ e 1,56 cmol dm⁻³, aumentando cerca de 0,0147 mg dm⁻³ e 0,0016 cmol dm⁻³ para cada quilograma de K₂O aplicado como termopotássio por hectare, respectivamente. A quantidade de P na camada de solo de 0 a 20 cm aumenta a partir de 11,40 mg dm⁻³ com a aplicação de termopotássio a uma dose de 80,29 kg ha⁻¹ de K₂O aplicado como TK47, atingindo 33,62 mmol dm⁻³ na dose de 250 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47). Na dose de 250 kg ha⁻¹ de termopotássio as quantidades de Si (6,59 mg ha⁻¹) e Ca (1,96 cmol dm⁻³) são consideradas como teores médio de disponibilidade desses nutrientes (KORNDORFE et al. 1999; RIBEIRO et al. 1999) e a quantidade de P (31,6 mg ha⁻¹) como muito elevada (RIBEIRO et al. 1999) para a produção da cana-de-açúcar.

A quantidade de K na camada de solo de 0 a 20 cm no solo aumenta a partir de 0,14 cmol dm⁻³ com a aplicação de termopotássio a uma dose de 66,67 kg ha⁻¹, atingindo 0,26 cmol dm⁻³ na dose de 250 kg ha⁻¹ de K₂O (TK47), sendo, portanto, considerados valores baixos a médios (SCHLINDWEIN et al. 2011). A quantidade de K na camada de solo de 20 a 40 cm sem a aplicação de termopotássio é de aproximadamente 0,12 cmol dm⁻³, aumentando cerca de 0,00067 cmol dm⁻³ para cada quilograma de K₂O aplicado como termopotássio por hectare. A concentração de K no solo é classificada como baixa, mesmo para a maior dose (250 kg ha⁻¹ de K₂O) testada de termopotássio.

Apesar dos extremos de disponibilidade desses nutrientes foram observados acréscimos em suas quantidades com o aumento da dose de termopotássio. Duarte (2015) também relatou incrementos na disponibilidade de Si, Ca e K no solo com o uso do mesmo termopotássio utilizado neste estudo (TK47).

CONCLUSÕES

As variáveis como N foliar, o K, Mg, P e Si no solo apresentaram incrementos regulares nos locais estudados com a aplicação de termopotássio TK47;

A aplicação de doses menores de K_2O como termopotássio apresentou resultados similares ou superiores à aplicação de KCl, mesmo em diferentes condições de disponibilidade de nutrientes como Ca e o P;

A aplicação do termopotássio TK47 é uma alternativa para o fornecimento de K e outros nutrientes (Ca, Mg, Si) para a cana-soca.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. V.; ZAGO, E. A.; MORAES, M. J. R. Determinação de ART e AR em caldo, mosto, vinho e méis pelo método colorimétrico de Somogyi e Nelson. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 1., 1979, Maceió. **Anais ...** Maceió: STAB, 1979. v. 1, p. 94-97.
- CHAMBERS, J.; CLEVELAND, W.; KLEINER, B.; TUKEY, P. Graphical methods for data analysis. Pacific Grove, CA: Wadsworth e Brooks/Cole, 1983. 395 p.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 110 p.
- DUARTE, I. N. **Fonte alternativa de potássio para adubação da cana-de-açúcar**. 2015. 199 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
- DUARTE, I. N. Termopotássio: **Fertilizante alternativo para a Agricultura brasileira**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de pesquisa de solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1999, 212p.
- EPA- Environmental Protection Agency, USA. **Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (METHOD 3052)**. U.S. EPA, 20p, December, 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 20 setembro de 2016.
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2000. 193p.
- FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.
- FIGUEIRA, J. L. G. **Eficiência agrônômica do termofosfato potássico fundido: estudo experimental em casa de vegetação, campo e colunas de lixiviação**. 1994. 80f. Dissertação (Mestrado em mineralogia e petrologia) – Universidade de São Paulo, Instituto de geociências, São Paulo, 1994.
- FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canal. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, p. 249-256, 2007.
- KAHN, H; TASSINARI, M.N; ANTONIASSI, J. L. Estudo de caracterização mineralógica em amostra de Verdete, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de Caracterização Tecnológica. 11 de maio de 2011 (Relatório interno –Verde Fertilizantes Ltda, maio de 2011).

- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H. ; MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de Silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 23, v. 1, p. 101-106, 1999.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de Silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (**Boletim Técnico**, 2).
- KORNDÖRFER, G. H.; RAMOS, L.A. Diagnose Foliar em Cana-de-açúcar. In: PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; VALE, D.W.; CORREIA, M.A.R. ; SOUZA, H.A. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FUNDUNESP, 2008. v.1. 301p.
- LEITE, P. da C. **Efeito de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo**. 1985. 160f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Pós-graduação em Agronomia, Escola superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.
- LEVENE, H. Robust Tests for the equality of variance. In: Olkin, I (Ed.) **contributions to probability and statistics**, Palo Alto, California: Stanford University Press, 1960. P.278 – 292.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 2007.**Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília, DF, Brasil.
- MORETTI, B. S. **Calcinação do Verdete e Caracterização do Seu Potencial de Uso Agrícola como Fonte de Potássio**. Lavras, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas – UFLA, 2012. Dissertação de mestrado, 75 p.
- PIZA, P. A. DE T.; FRANÇA, S. C. A.; BERTOLINO, L. C. **Termopotássio do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio**. XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2009.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba-SP, International Plant Nutrition Institute, 2011, 420 p.
- RAIJ, G. J. C; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, JA & FURLANI, A.M.C., ed. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo .2 ed. Campinas, **Instituto Agrônomo & Fundação IAC**, 1996. 255p. (**Boletim Técnico**, 100).
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H.V. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.
- SCHENEIDER, F. **Sugar Analysis ICUMSA methods**. Peterborough: ICUMSA, 1979, p.265.
- SCHLINDWEIN, J. A, BORTOLON, L.; GIANELLO, C Calibração de métodos de extração de Potássio em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35 p.1669-1677, 2011.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M.A. 1974. **A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance**. Biometrics, Raleigh, 30(3):507-512.
<https://doi.org/10.2307/2529204>

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, Oxford, RU, v. 52, p. 591-611, 1965.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian Planter's Record**, Honolulu, v. 51, n. 2, p. 133-150, 1969.

TUKEY, J.W. **Exploratory data analysis**. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company. 688 p. 1977.